



COCINA SOLAR DE ULTRA-BAJO CONSUMO

Marzo 2016

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ BODAS

TUTOR: ANTONIO LECUONA NEUMANN

AGRADECIMIENTOS

Lo primero de todo, dar las gracias al tutor de este Trabajo de Fin de Grado, Antonio Lecuona, por la oportunidad brindada para poder llevarlo a cabo y por la gran atención, interés y dedicación que ha prestado al mismo.

Por otro lado, he de agradecer el ánimo e interés recibido por mis amigos y varios compañeros de la universidad, que se han interesado a lo largo de este TFG por su evolución.

Por último, cabe agradecer a mis padres, hermana, abuelo y a Cristina Pérez el apoyo recibido en todo momento, desde el inicio del Trabajo hasta su finalización. Sin su constante ayuda este Trabajo no hubiese sido posible.

ÍNDICE

1. RESUMEN	8
2. INTRODUCCIÓN	9
2.1. HISTORIA DE LA ENERGÍA	9
2.2. REPARTO ENERGÉTICO ACTUAL.....	13
2.3. TIPOS DE ENERGÍA	15
2.3.1. No renovables.....	15
2.3.2. Renovables	16
2.4. NECESIDAD DE USO DE LA COCINA SOLAR	26
3. COCINA SOLAR.....	28
3.1. INTRODUCCIÓN A LA COCINA SOLAR.....	28
3.2. PRECEDENTES DE LA COCINA SOLAR.....	28
3.3. LA COCINA SOLAR EN LA ACTUALIDAD	30
3.4. TIPOS DE COCINA SOLAR.....	32
3.5. LA COCINA SOLAR: SOCIEDAD, MEDIOAMBIENTE Y ECONOMÍA	36
3.6. COCINAR CON COCINA SOLAR	37
3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA COCINA SOLAR	40
4. UNA COCINA SOLAR ESPECIAL	43
5. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN.....	44
5.1. PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	45
5.2. SOPORTE DEL PANEL SOLAR	50
5.3. VASOS DEWAR/TERMOS.....	54
5.4. OLLAS-TERMO	57
5.5. OLLA CON AISLANTE	58
6. ASPECTOS SIGNIFICATIVOS DEL ESTUDIO.....	64

6.1. PÉRDIDAS CONSIDERADAS	65
6.1.1. Pérdidas térmicas.....	65
6.1.2. Pérdidas por el aumento de la temperatura del panel	67
6.1.3. Pérdidas por suciedad en el panel.....	68
6.1.4. Pérdidas por edad de la instalación	70
6.2. INFLUENCIA DE LOS AGENTES METEOROLÓGICOS	71
6.2.1. Temperatura ambiente	72
6.2.2. Viento.....	72
6.2.3. Radiación solar.....	73
6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES USADOS	73
7. RESULTADOS DEL MODELO DE CÁLCULO	75
7.1. MODELO DE CÁLCULO USADO.....	76
7.2. DÍA 15 DE ENERO DE 2015	79
7.2.1. Configuración A (lana de roca)	79
7.2.2. Configuración B (espuma de poliuretano)	81
7.2.3. Configuración C (termo-vaso Dewar)	83
7.3. DÍA 15 DE JULIO DE 2015.....	85
7.3.1. Configuración A (lana de roca)	85
7.3.2. Configuración B (espuma de poliuretano)	89
7.3.3. Configuración C (termo-vaso Dewar)	91
7.4. VARIACIONES Y MEJORAS	92
7.4.1. Efecto de la emisividad.....	92
7.4.2. Efecto de las pérdidas de potencia en el panel	94
7.4.3. Uso de cobertor al llegar al punto de ebullición	96
7.4.4. Aprovechamiento de la energía para otras utilidades.....	98
7.4.5. Calentamiento de varias comidas a lo largo del día	102
8. CONCLUSIONES.....	104
9. TRABAJOS FUTUROS	105
10. BIBLIOGRAFÍA	106
10.1. LIBROS Y ARTÍCULOS	106
10.2. MATHCAD USADOS.....	107
10.3. ENLACES WEB	107

1. RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es analizar el comportamiento de una cocina solar para llegar a la conclusión de si es viable o no cocinar con ella. Este dispositivo constará de un panel solar fotovoltaico conectado a una resistencia térmica que se encargará de transmitir el calor al alimento.

En el presente trabajo se estudian dos sistemas de cocina, uno en el que la resistencia se coloca alrededor de una olla y ésta a su vez se recubre de aislante térmico, de modo que durante el calentamiento se minimicen las pérdidas de calor al exterior y además, que una vez se haya calentado sea lo más lento posible el proceso de enfriamiento. En el otro sistema, en vez de olla se utilizará un recipiente tipo termo-vaso Dewar en cuyo interior está instalada la resistencia.

Así pues se realiza el estudio del tiempo que tarda en calentarse hasta una temperatura necesaria para que el alimento comience a cocinarse y también el tiempo que tardará en enfriarse dicho alimento desde su temperatura máxima. Además se analizan otros parámetros característicos que se explican en los capítulos que en este trabajo se desarrollan. Para ello se estudia teóricamente el comportamiento de la cocina solar, con el uso de una hoja de cálculo Mathcad.

En este trabajo se expondrán también diferentes ventajas y desventajas de este tipo de cocina solar, además de ciertas mejoras que se pueden realizar sobre su sistema.

Por último se muestran los resultados del estudio que desvelan qué sistema de cocinado es más adecuado, si hay algún tipo de problema con alguna de las configuraciones propuestas y además demostrar que el estudio se ha realizado de manera correcta y coherente.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los mayores retos para la comunidad científica es conseguir autosuficiencia energética, puesto que en gran medida las fuentes de energía que se usan son no renovables y los inconvenientes de éstas son bien conocidos: recursos limitados, contaminación del aire que se respira (enfermedades respiratorias), potencia la lluvia ácida, efecto invernadero, etc.

Cada vez más se saca partido de las energías renovables, de ahí la importancia de estudiar elementos como las cocinas solares que permitan cocinar alimentos sin usar combustibles fósiles o madera como medio de obtención de energía.

Así pues, en este apartado se va a hacer un repaso de las fuentes de energía y cómo se han aprovechado a lo largo de nuestra historia. Posteriormente se analizará el reparto energético en la actualidad y por último se expondrán los tipos de energía que existen, acompañadas de algunos datos de interés.

2.1. HISTORIA DE LA ENERGÍA

Desde el principio de los tiempos el ser humano ha intentado aprovechar en el mayor grado posible las distintas fuentes de energía que estaban a su alcance para hacer su vida más cómoda.

La forma de energía por excelencia es la solar, pues el Sol es necesario para la vida de la gran mayoría de seres vivos que se encuentran en el planeta Tierra, por ello la podemos catalogar como la primera fuente de energía usada. Sin embargo, la primera forma de energía que se ha usado en la Tierra y que no estaba disponible directamente en la naturaleza es el fuego. Usando la madera como medio de combustión, se mejoró muy notablemente la vida de los seres humanos, pues a partir del momento en el que supieron hacer y controlar el fuego, comenzaron a disponer de luz y calor en sus hogares. Además

se empezaron a cocinar los alimentos, lo que se tradujo en la mejora de salud y esperanza de vida gracias a la eliminación de los microorganismos que se encontraban en los mismos. Desde aquel momento comenzó la tala de árboles con fines combustibles.

Durante muchos siglos no se producen grandes avances en materia energética ya que se podía obtener madera barata y con gran poder calorífico. Los siguientes hechos más destacables fueron inventos como los molinos de viento o los barcos de vela hasta que en el siglo XIII se inventa en China la pólvora, que marcaría el futuro de los conflictos bélicos y la forma de extracción de los minerales subterráneos. En una sociedad cada vez más avanzada que necesita cocinar sus alimentos, calentar sus hogares y altas temperaturas para determinados trabajos de cerámicas, hierros, etc. aumenta la demanda y también la explotación de la madera como único medio de obtención de energía.

De este modo, no se realiza ningún desarrollo más en materia energética hasta el siglo XVII, época en la que proliferan los descubrimientos científicos, pues en una sociedad ya muy desarrollada como la de aquella época había personas que podían dedicarse en cuerpo y alma al estudio de todo aquello que no comprendían o creían poder mejorar. Así pues se desarrollan ramas de la ciencia que permiten avanzar en la ingeniería y es en esta época cuando se usa por primera vez el carbón para realizar un trabajo mecánico, de mano de Thomas Savery, inventor inglés que desarrolló en 1698 una especie de máquina de vapor capaz de desarrollar una potencia suficiente como para drenar el agua de las profundidades y facilitar así la labor minera.

Posteriormente entró en escena Thomas Newcomen, herrero e inventor inglés. conocido por algunos como el padre de la Primera Revolución Industrial, que en 1712 mejora la máquina de Thomas Savery con la introducción de un cilindro y un pistón. Sin embargo, no fue hasta finales del siglo XVIII cuando el escocés James Watt mejora notablemente las máquinas de vapor predecesoras y entonces sí se entró de lleno en la Primera Revolución Industrial, que se dio primero en Reino Unido y más tarde se extendió a América del Norte y el resto de Europa.

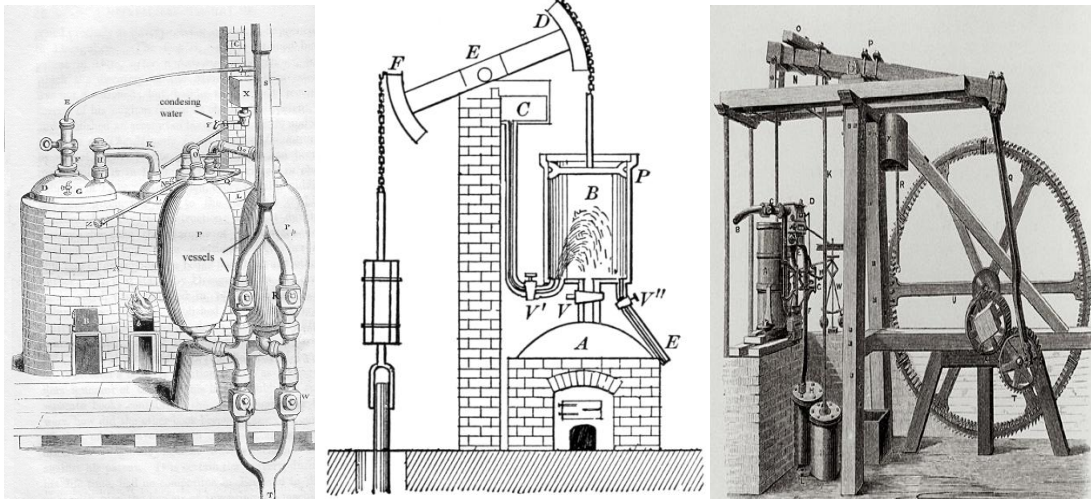


Figura 1 – (a) Máquina de Thomas Savery, fuente: <http://historiasconhistoria.blogia.com/2008/031301-el-amigo-del-minero.php>. (b) Máquina de Thomas Newcomen, fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_atmospheric_engine. (c) Máquina de James Watt, fuente: http://www.glogster.com/taydrienne/james-watt-steam-engine/g-6mfk3cpghgqdlhtm2jlqa0?old_view=True

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta máquina es la base de grandes inventos posteriores como el barco de vapor de Robert Fulton, diseñándose el primero alrededor de 1800 o la locomotora de George Stephenson, alrededor de 1820.

Como revela la US Energy Information, Agencia Estadounidense para la Energía, el consumo de carbón comienza a potenciarse a partir de 1850 con la llegada de la Revolución Industrial. El consumo de carbón en el país pionero de la Revolución Industrial, Gran Bretaña, comienza unas décadas antes, sin embargo el informe mencionado sirve de reflejo de los progresos y cambios que ha sufrido la sociedad desarrollada a lo largo de los últimos siglos, aunque solo muestre datos referidos a Estados Unidos.

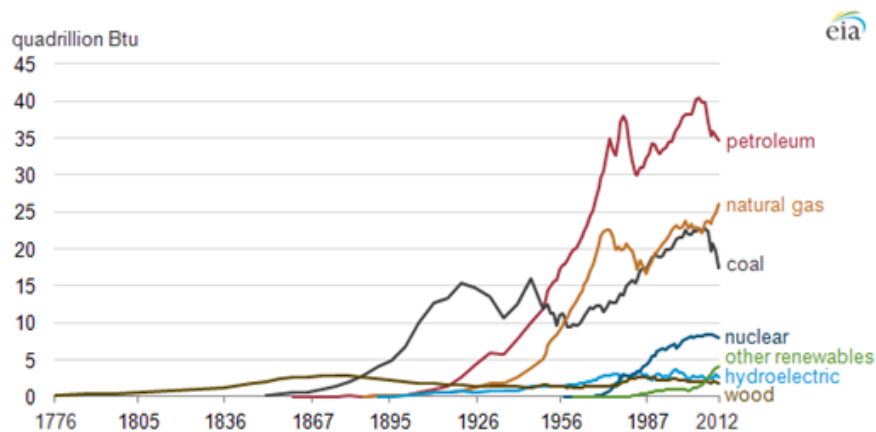


Figura 2.- Historia del consumo energético en EEUU, fuente: U.S. Energy Information Administration, AER Energy Perspectives and MER.

Si bien la unidad quadrillion Btu corresponde a 10^{18} J, lo que interesa en realidad es la forma del gráfico. El aumento del consumo de carbón que se observa se debe en gran medida a que no se podía abastecer toda la demanda energética con madera únicamente. Además durante esos años, exactamente en 1859 Edwin Drake manda perforar el primer pozo petrolífero de la historia con suficiente cantidad como para ser útil. Desde aquel preciso instante comenzó la despiadada emisión de gases contaminantes a nuestra atmósfera.

En los siguientes años destacan los precursores de la electricidad Georg Simon Ohm, Charles-Augustin de Coulomb y Michael Faraday que consiguieron realizar trabajos mecánicos mediante energía eléctrica y permitieron que a finales de siglo la mayor parte de la sociedad desarrollada gozase de redes y tendidos eléctricos. También son destacables científicos como Nicolas Carnot y James Prescott Joule que contribuyeron a desarrollar el motor térmico (Cabañas Martín, 2014).

Todos estos avances juntos con el motor de combustión interna inventado por Nikolaus August Otto en 1876, gracias al precedente en 1815 de Alphonse Beau de Rochas que describió de manera correcta y completa por primera vez el ciclo termodinámico de cuatro tiempos, contribuyeron a un consumo desmesurado de petróleo y sus productos derivados. De hecho, la fabricación del primer automóvil con motor de combustión interna en 1886 por parte de Karl Friedrich Benz supone el detonante para que cada vez se consuma más petróleo en detrimento del carbón, tal y como se puede ver en el gráfico de la Figura 3.

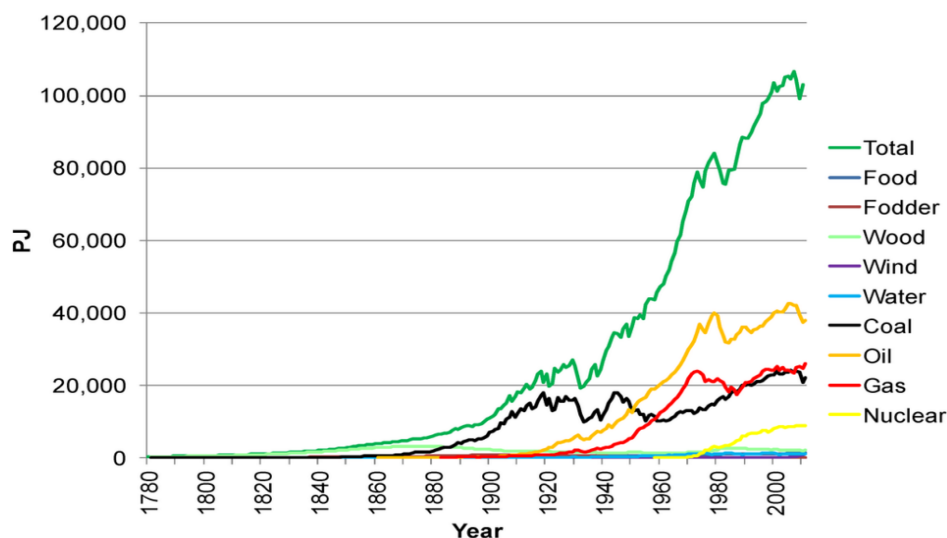


Figura 3.- Consumo energético global 1780-2010, fuente: (O'Connor & Cleveland, 2014)
<http://www.mdpi.com/1996-1073/7/12/7955/htm>

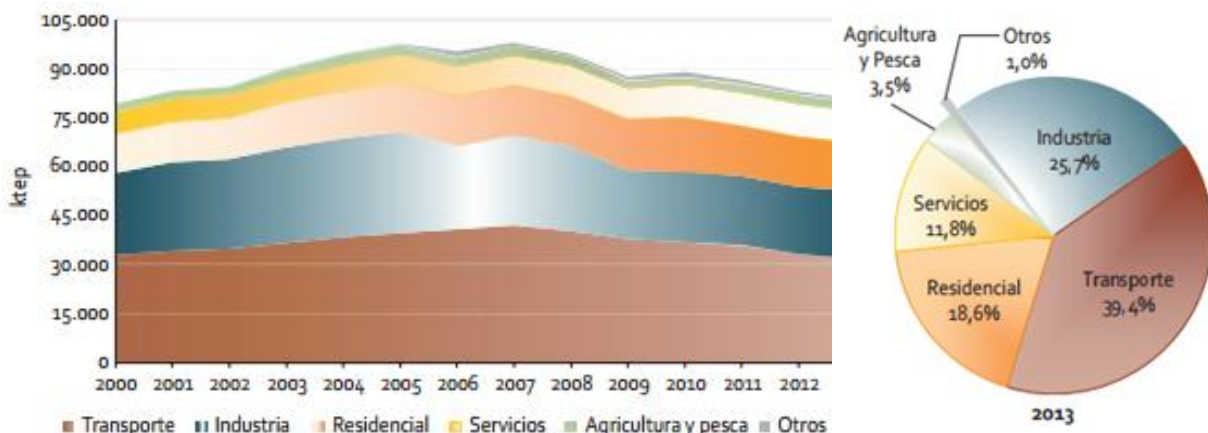
En el siglo XX los hechos más destacables son que el petróleo desbancó al carbón como combustible más usado; que el gas natural comenzó a utilizarse como medio de obtención de energía térmica en calderas y cocinas, de hecho en España la bombona de butano comenzó a comercializarse a partir de los años 50 y que se instalaron las primeras centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares debido al continuo aumento de la demanda de energía en el mundo. Además, se puede denotar que en los últimos años hay una notable implantación de energías renovables con objetivo de sustituir a las de origen fósil o nuclear, como se explicará en el siguiente apartado.

2.2. REPARTO ENERGÉTICO ACTUAL

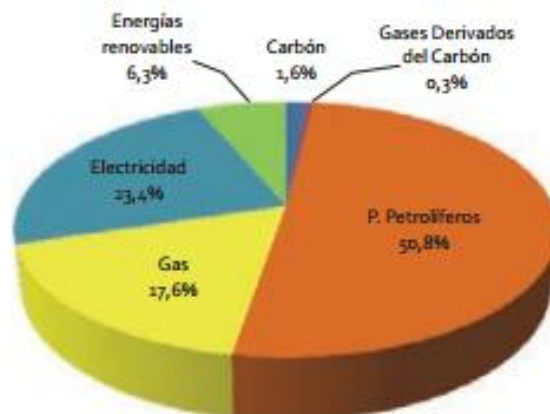
Se necesitan cantidades ingentes de energía para abastecer con suficiencia la demanda de la sociedad actual, puesto que las necesidades cada vez son mayores. España, debido a su grado de desarrollo, es uno de los países que más energía consume y es bueno saber de dónde procede, el grado de autosuficiencia que tiene este país y en qué se emplea dicha energía.

En España en el 2014 se consumieron, incluyendo el consumo para usos no energéticos, 83.525 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep), reduciéndolo un 2,7%

respecto al año anterior. El gráfico que se expone a continuación muestra los últimos datos del porcentaje de energía que se emplea en España según el sector:



Así pues observamos que el transporte es el sector mayoritario de demanda energética en España con un 39,4% del total. La demanda energética del sector industrial continúa bajando debido al parón en la economía que ha propiciado la disminución de la actividad industrial. A continuación se muestra un gráfico que nos ilustra los orígenes de la energía que se usa en España:



Es especialmente relevante destacar que solo el 6,3% de la energía consumida en España procede de fuentes renovables. Es una cifra desoladora y ha de ser aumentada si se pretende no depender continuamente de países que venden la energía al precio que ellos convengan. Entre los años 1990 y 2006, España ha aumentado su consumo

energético en un 60,5% y sin embargo, la producción interior de energía primaria ha disminuido un 7,5%. Para ser más exactos, en 2014 la producción interior de energía primaria fue de 33.623 Ktep, lo que supone que hay una dependencia energética de países externos de alrededor del 73%.

Así pues, hay que hacer una mayor apuesta por energías renovables, intentando que los métodos de producción sean más eficientes para permitir que se reduzca su coste de obtención y así lo haga su precio.

2.3. TIPOS DE ENERGÍA

Hay que diferenciar entonces entre energías no renovables y renovables:

2.3.1. Energías no renovables

Este tipo de energías son las que se han usado convencionalmente y se caracterizan porque sus fuentes son agotables, lo que significa que no se puede disponer infinitamente de ellas y que cuando se acaben sus reservas no se renovarán al ritmo que se consumen hoy en día. Se dividen en dos grandes grupos: combustibles fósiles y combustibles nucleares.

-Combustibles fósiles: proceden de los restos de seres vivos enterrados hace millones de años y las tres fuentes energéticas más usadas de este grupo son el carbón, el petróleo y gas natural.

Como se ha visto en la Figura 5, más del 70% de la energía consumida en nuestro país procede directamente de la combustión de productos petrolíferos. Aunque se destina a la mayoría de los sectores, sobre todo se consume en el sector transporte, ya que prácticamente todos los vehículos a motor usados en el mundo necesitan petróleo destilado para su funcionamiento. Del mismo modo no hay que olvidarse de que se sigue usando la quema de carbón y de gas natural para la obtención de energía térmica o

eléctrica, tanto en los hogares como en las centrales con mismo nombre, que también contribuyen a la delicada situación medioambiental que se sufre hoy en día.

Cabe destacar que son bastante baratos, con una gran disponibilidad temporal aunque no se sabe exactamente hasta cuándo habrá existencias y que casi todos se extraen con facilidad. Sin embargo, a la gran desventaja de que son limitados hay que sumarle que su uso produce gases contaminantes que potencian el efecto invernadero, cambio climático, lluvias ácidas, enfermedades respiratorias, etc.

-Combustibles nucleares: mayoritariamente su uso se destina a la obtención de energía eléctrica en centrales nucleares, mediante la fisión del núcleo de combustibles típicos como el uranio y el plutonio, aunque se pueden usar otros elementos fisibles. La fisión del núcleo libera una gran cantidad de energía que sirve para calentar otra sustancia que se evapora y choca contra los álabes de una turbina generando energía eléctrica.

El uso de centrales nucleares es un tema muy controvertido pues aunque los combustibles nucleares tengan la capacidad de generar una gran cantidad de energía y no emitan gases nocivos a la atmósfera, hay un gran colectivo de personas que son reacias a su uso por las posibles catástrofes ambientales que se producen en caso de accidente en la central. Además, generan residuos radiactivos que son potencialmente nocivos a lo largo de miles de años.

2.3.2. Energías renovables

Se denomina energías renovables a aquellas que provienen de fuentes naturales de energía inagotables como el agua, el sol, el viento, calor interno de la tierra, etc. y que por tanto poseen una gran cantidad de energía.

A lo largo de la historia de la humanidad, siempre se han aprovechado en mayor o menor medida los medios naturales para hacer la vida de las personas más cómoda. Los primeros ejemplos fehacientes que existen son tales como la navegación a vela, los molinos de viento y molinos de agua, pero es durante la Revolución Industrial cuando se

corta de raíz el uso de energías provenientes de fuentes renovables y se comienza a usar otra serie de recursos más baratos y con mayor poder de generación de energía: los combustibles fósiles.

Pese a ello, parece que de nuevo el rumbo se perfila hacia el uso de energías renovables y éstas son llamadas a sustituir a las energías convencionales, pues tienen claras ventajas sobre ellas, como que son inagotables y contaminan mucho menos, si bien tienen un gran impacto visual y ambiental ya que las instalaciones que se usan para su obtención son de gran envergadura y suelen alterar el medio ambiente que las rodea.

En la década de 1970, la crisis del petróleo fue un gran impulso para las energías renovables. Tras el gran encarecimiento de los combustibles fósiles y la dura crisis que como consecuencia sacudió a la sociedad, muchos cuestionaron el uso indiscriminado de ese tipo de fuente de energía. Además, los estudios revelaban todo tipo de inconvenientes en el uso de combustibles fósiles para cualquier fin: reservas limitadas, enfermedades respiratorias a causa de su uso, calentamiento global cada vez más pronunciado, etc. Se dio otro paso más en 1997, cuando los países más industrializados del mundo llegaron a un acuerdo a través del Protocolo de Kioto, pero no fue hasta el 16 de febrero de 2005 cuando entró en vigor.

Todos estos esfuerzos parecen ser insuficientes y los países desarrollados han de disminuir todavía en gran medida los excesos de emisiones que se generan con los combustibles fósiles. Así pues, se ha seguido celebrando anualmente la Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático, siendo fundamental la desarrollada en París en entre el 30 de noviembre y el 11 de diciembre de 2015, en la que por primera vez se ha alcanzado un acuerdo histórico sobre los métodos para reducir el cambio climático y que será vinculante si se adhieren a él al menos 55 países que representen al menos el 55% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

En España en los últimos años ha crecido rápidamente la producción de energías renovables, en especial la eólica y la hidráulica como se puede ver en la comparativa de los dos siguientes gráficos:

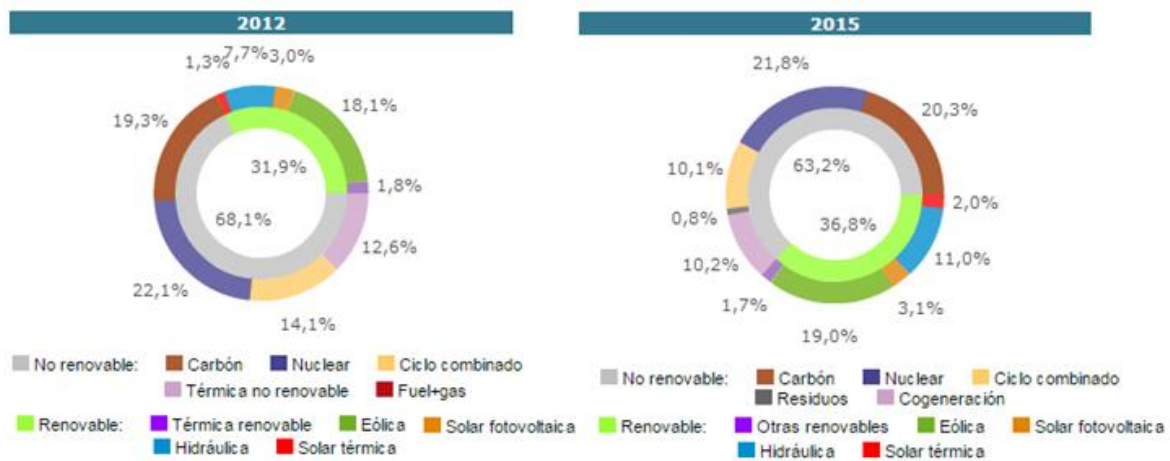


Figura 6.- Balance anual de la energía producida en España, fuente: Red Eléctrica de España.

Lo más destacable de la Figura 6 es que si bien no se aprecian grandes cambios en ninguno de los sectores presentes, sí que se puede observar la tendencia a disminuir la producción de energía no renovable y por el contrario, un aumento progresivo de las energías renovables, que poco a poco han de hacerse hueco en el mercado.

A continuación se explicarán los distintos tipos de energía renovable, que son eólica, marina, biomasa, hidroeléctrica, geotérmica y solar.

-Energía eólica: se basa en aprovechar la energía cinética generada por las corrientes de aire en movimiento. La energía del viento se ha aprovechado desde tiempos inmemoriales, de hecho se tienen referencias de que en el siglo I se usó un artilugio parecido a un molino de viento para hacer sonar un órgano. Sobre el siglo XII llegaron los primeros molinos de viento a Europa y después empezaron a usarse barcos de vela aprovechando la fuerza del viento.

Sin embargo, hoy en día no se aprovecha la energía eólica del mismo modo. Con el uso de aerogeneradores se consigue energía eléctrica con un proceso sencillo: el viento choca contra unas palas que son los álabes del rotor del aerogenerador y de este modo se mueven, transformando la energía cinética del viento en energía cinética de las hélices. Acto seguido se transmite el movimiento al eje de un generador eléctrico, que transforma la energía cinética de las palas en energía eléctrica.

En España hay una gran cantidad de emplazamientos donde se genera energía eólica, puesto que existen grandes sistemas montañosos, zonas costeras y mesetas en alto dónde el viento se mueve a grandes velocidades.

Los aerogeneradores por tanto son capaces de transformar la energía cinética de sus palas en energía eléctrica pero para ello deben ser de gran tamaño y éste es uno de los inconvenientes de la energía eólica, la contaminación visual y ambiental de los parques eólicos. Aún así, el principal inconveniente en materia energética es que lógicamente depende del viento y aunque los parques eólicos se ubican en zonas en las que el viento se mueve regularmente, nada puede asegurar su continuidad, de modo que se trata de una energía intermitente.

El aprovechamiento de la energía eólica como se concibe en la actualidad es relativamente moderno, pues fue en 1979 cuando los fabricantes Nordtank, Kuriant, Bonus y Vestas¹ comenzaron a producir turbinas de viento en serie. Desde aquel momento, se han hecho grandes avances en la reducción del coste de este tipo de energía y debido a ello se ha dado un gran impulso a la misma. Como no depende de combustibles fósiles, su precio es bastante estable y sigue disminuyendo gracias a los avances y mejoras de las turbinas de modo que una vez hecha la gran inversión inicial que se necesita, el coste del kWh es aproximadamente de 0,01 \$.

Los últimos datos revelan que la capacidad instalada en el mundo de energía eólica es de unos 370 GW, generando así alrededor del 5% del consumo eléctrico global². España es un país puntero en producción de esta energía, si bien hay países que avanzan a un ritmo mayor como muestra la Tabla 1:

	2009	2010	2011	2012	2013
China	12 210	25 104	44 733	62 733	75 564
Estados Unidos	25 170	35 159	40 200	46 919	60 007
Alemania	23 903	25 777	27 214	29 060	31 332
España	16 740	19 149	20 676	21 674	22 796
India	9587	10 925	13 064	16 084	18 421

Tabla 1.- Potencia eólica total instalada en España (MW). Fuente: IDAE

-Energía marina: es aquella basada en el aprovechamiento de la energía cinética generada por el movimiento del agua de los mares y océanos y tiene una gran cantidad de variantes:

- E. mareomotriz: obtenida de las grandes masas de agua en movimiento.
- E. osmótica: obtenida por las diferencias de salinidad del agua.
- E. térmica oceánica: obtenida por las diferencias de temperatura del agua.
- E. de las corrientes: obtenida por las corrientes oceánicas.
- E. undimotriz: obtenida por las olas superficiales.
- E. oceanográfica: obtenida por la rotación de la Tierra.

La energía marina no está muy extendida pues aunque es una energía renovable que prácticamente no emite gases contaminantes a la atmósfera y tiene poco impacto, está en fase de experimentación y mejora ya que tiene los inconvenientes de que el traslado de la energía obtenida es muy costoso y los agentes marinos tales como la sal y el agua hacen que la corrosión de los equipos sea notable. El tipo de energía marina más extendido es la mareomotriz.

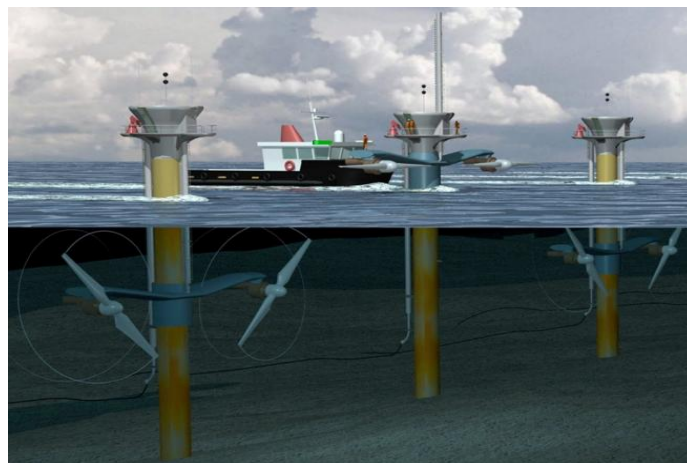


Figura 7.-Central mareomotriz. Fuente: <http://www.proyectopv.org/2-verdad/energiamarem.htm>

-Energía de la biomasa: se basa en el aprovechamiento, normalmente por combustión, de la materia orgánica e industrial que proviene de los seres vivos, sus restos y sus residuos. Así pues se diferencia la biomasa en:

- Natural: producida por la naturaleza sin intervención del hombre, abarcando animales y vegetales.

- Residual: cáscaras, rastrojos y demás restos provenientes de actividades agrícolas.
- Cultivos energéticos: su objetivo es producir biocombustibles o biocarburantes.

La energía de la biomasa es considerada una energía renovable, puesto que los residuos orgánicos se generan de manera automática y continua. Sin embargo, es un tipo de energía que no contribuye a la disminución de emisiones de CO_2 a la atmósfera, ya que en el proceso de producción de la biomasa, que puede tardar meses, se generan emisiones indirectas y eso sin tener en cuenta que la forma más frecuente de obtención de energía por biomasa es su combustión. Estos aspectos llevan a plantearse si es una energía que pueda reemplazar a las tradicionales.

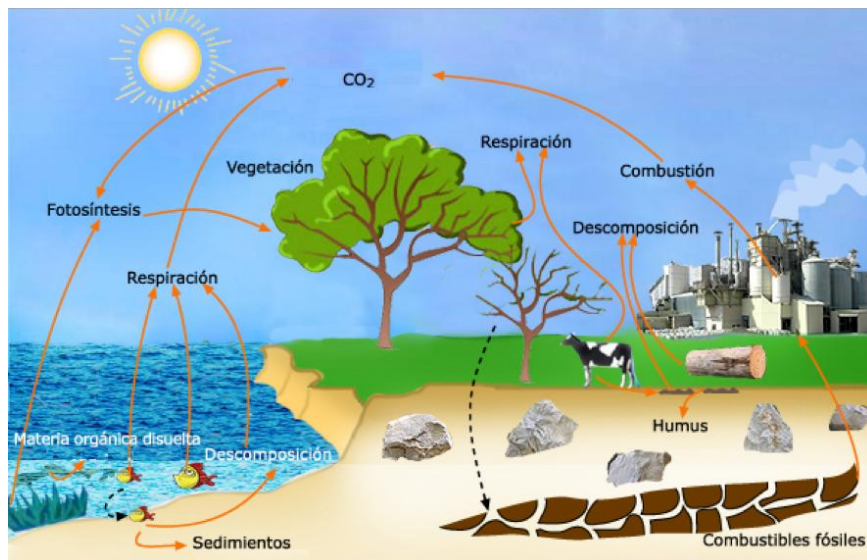


Figura 8.- Ciclo de la biomasa. Fuente: EOI (Escuela de Organización Industrial)³

-Energía hidroeléctrica: consiste en aprovechar la energía cinética y potencial de corrientes o saltos de agua. La forma más común de producción de energía hidráulica o hidroeléctrica es la construcción de presas, cortando el cauce natural de un río para producir un salto de agua que sea aprovechable. Así pues, se deja caer agua sobre unas turbinas hidráulicas conectadas a un generador eléctrico con capacidad para transformar la energía del agua en energía eléctrica.

El único problema de la energía hidroeléctrica es el gran impacto visual y ambiental que se produce en la construcción de la presa, pues se inundan grandes áreas de terreno que puede estar incluso habitado y se alteran los distintos ecosistemas de la zona.

Sin embargo, se puede considerar que tiene más ventajas que inconvenientes, ya que la única emisión de gases que se produce con esta energía es de manera indirecta durante la construcción de la presa y las instalaciones necesarias, pero una vez acabadas no se producen ningún tipo de emisión contaminante más. Además tiene un gran rendimiento y son regulables, a través del control del flujo de agua que se deja caer.

Cabe destacar que incluso hay casos en los que si se trata de una zona en la que no son abundantes las lluvias, por la noche cuando la electricidad es más barata se vuelve a bombear el agua hacia el embalse para poder disfrutar de su poder energético durante las horas diurnas y así no ser tan dependientes de la meteorología. Por todos estos motivos, es un tipo de energía muy extendida.



Figura 9.- Presa de Ricobayo, Zamora. Fuente: <http://mapio.net/o/3694522/>

-Energía geotérmica: se basa en aprovechar el calor del interior de la Tierra, puesto que puede haber acuíferos a gran profundidad cuya masa de agua sea calentada por las altas temperaturas del estrato, de modo que al ascender el agua hacia la superficie se pueden

dar manifestaciones en forma de vapor como los géiseres o en forma líquida como las fuentes termales.

En caso de que el agua llegue a la superficie en forma de vapor, se usará para mover una serie de turbinas conectadas a generadores eléctricos, que transformarán la energía cinética de las hélices en energía eléctrica. En caso de que el agua llegue a la superficie en estado líquido, se usa para calentar hogares y otros edificios con la ayuda de instalaciones de ACS (agua caliente sanitaria), aprovechando la energía térmica del agua.

Al igual que lo comentado anteriormente con los embalses, el agua que sale a la superficie en el caso de la energía geotérmica puede ser devuelta a los acuíferos de donde partieron para que se vuelva a calentar y vuelva a ascender hasta la superficie. Además de esta ventaja, se podría destacar que las plantas de generación de energía geotérmica ocupan poca superficie y sobretodo lo más importante a destacar es la baja emisión de contaminantes a la atmósfera.

Sin embargo, aunque hay una gran cantidad de fuentes de energía geotérmica en la Tierra, hay que decir que sólo está disponible en lugares muy específicos, destacando Islandia sobre los demás. Respecto a la contaminación sólo preocupa la emisión de ácido sulfhídrico a la atmósfera y la posible alteración del agua con elementos nocivos como amoníaco y arsénico.



Figura 10.-Planta geotérmica Nesjavellir, en Islandia. Fuente: <http://energiasrenovadas.com/islandia-quiere-producir-mas-energia-geotermica/>

-Energía solar: consiste en aprovechar la radiación electromagnética que llega a la Tierra procedente del Sol, formada principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos con una pequeña cantidad de radiación ultravioleta.

Así pues, se puede aprovechar mediante distintos artilugios tanto el calor como la luz que llegan a la superficie terrestre. El aprovechamiento directo de la energía solar consiste en usar su calor y transferirlo a un fluido de trabajo, siendo ejemplo de ello desde una instalación ACS para una vivienda, hasta una central térmica de espejos móviles (helióstatos), pasando por discos y colectores solares parabólicos. La otra opción es usar la luz del Sol para generar electricidad gracias a las células fotovoltaicas, basándose en el efecto fotoeléctrico. Sin embargo, en torno a la energía solar se abren cada vez más ramas de investigación de como aprovecharla y aquí nacen las cocinas solares, tema central de este trabajo.

La Tierra recibe del Sol tres veces más energía de la que se consume en todo el planeta y por ello se ha suscitado un gran interés en mejorar las formas de aprovechamiento, haciendo que en muchos países este tipo de energía sea la más usada de las renovables. En la actualidad ya sustituye en muchas funciones a algunas energías no renovables y tiende a ser su sustituta definitiva en un futuro no muy lejano.

España es un país conocido fuera de sus fronteras por la cantidad de horas de Sol que hay en él y de hecho es uno de los países europeos que más luz natural recibe. Esto junto a una regulación legislativa beneficiosa y a la necesidad de disminuir la dependencia energética exterior hizo que España fuese un país pionero en investigación, mejora y desarrollo en este tipo de energía. En 2008 se instalaron 2708 MW⁴ de energía procedente del Sol, aunque posteriormente este crecimiento se vio frenado por la entrada en vigor de una nueva legislación que no favorecía la construcción de nuevas plantas.

La Figura 11 muestra la radiación media que recibe nuestro país por zonas:

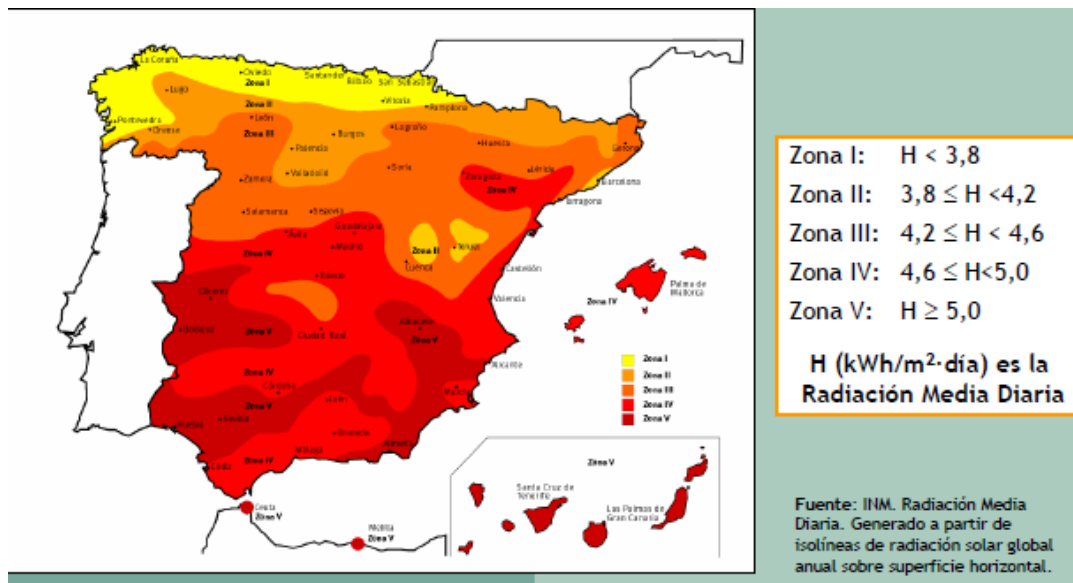


Figura 11.- Radiación media diaria según zonas en España. Fuente: INM

Este tipo de energía por tanto tiene muchas ventajas:

- Es totalmente respetuosa con el medio ambiente.
- Aparte de las grandes plantas de producción también se pueden tener instalaciones en viviendas, tanto de ACS como de placas fotovoltaicas.
- Gran capacidad energética.

Pero como es lógico también tiene sus inconvenientes, entre los que destaca que la radiación que llega a la superficie es dependiente de las condiciones climatológicas del lugar, de modo que en un mismo día puede haber grandes variaciones, además de no poder ser usada durante las horas nocturnas.



Figura 12.- (a) Central de torre central y campo de heliostatos Gemasolar, Fuente de Andalucía (Sevilla). Fuente: <http://www.unsam.edu.ar/tss/ventajas-de-la-energia-solar-termica>. (b) Sistema de colectores cilindro-parabólicos. Fuente: <http://eliseosebastian.com/sistemas-de-colector-cilindrico-parabolico>. (c) Panel Solar Térmico. Fuente: <http://www.clickrenovables.com/blog/aprovecha-el-sol-del-verano-ahorra-hasta-un-70-con-una-sola-placa-solar-termica/>

2.4. NECESIDAD DE USO DE LA COCINA SOLAR

En la actualidad las sociedades menos desarrolladas invierten la mayor parte de su energía en la cocción de alimentos para consumo propio. Hay que ser conscientes de que estas poblaciones usualmente no tienen acceso a formas de energía actuales como el petróleo (2.000 millones de personas actualmente⁵), los gases fósiles o la electricidad y en caso de tener acceso, no pueden hacer frente al desembolso económico necesario.

Por ello, suelen recurrir a la quema de leña o excrementos de vaca para cocinar sus alimentos. La recolecta de la leña es una tarea pesada y que suele ocupar la mayor parte del día de los niños y mujeres que son los encargados de su obtención, pues normalmente tienen que recorrer grandes distancias a pie para conseguirla. Además, hay que añadir que la tala de leña potencia el problema de la deforestación, agravando los problemas de esos pueblos.

Pero el problema más grave es el relacionado con la salud, ya que la generación de humo durante la quema de leña en los hogares es la segunda causa de muerte prematura tras el SIDA en el tercer mundo.

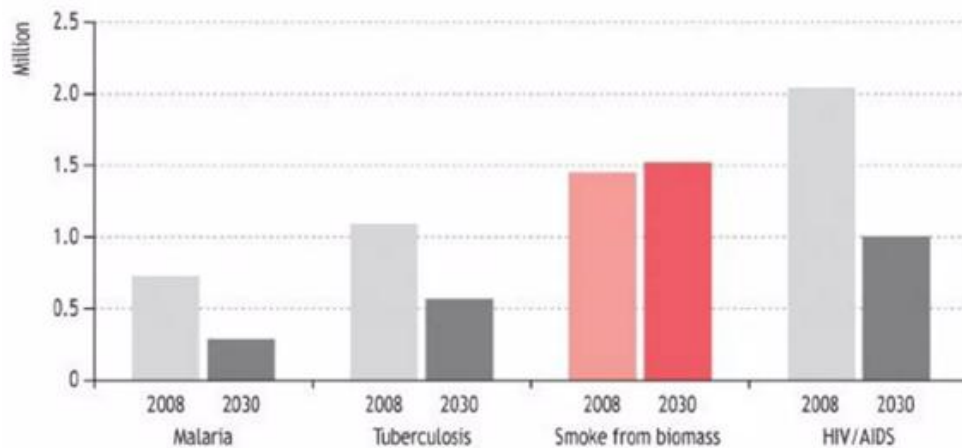


Figura 13.- Número de muertes prematuras al años a causa de la contaminación del humo y otras causas. Fuente: Mathers and Loncar (2006); WHO (2008); Smith et al., (2004) and IEA analysis.

Para disminuir todo lo posible esta situación se pueden tomar varias medidas, como incrementar la eficiencia de las cocina de leña, construir chimeneas de evacuación de humos, usar otros combustibles menos dañinos que la leña como bioaceites o biogás.

Las cocinas de leña suelen tener una eficiencia energética (calor en el alimento/poder calorífico de la leña quemada) muy baja, en torno al 10-15%; en los casos de cocinas de leña mejoradas, se puede hablar de un rango entre el 20-35%; en cocinas de queroseno, gas y resistencias eléctricas alrededor del 35% y un microondas ronda el 50%.

Debido a todos los problemas anteriormente nombrados, parece que la mejor de las soluciones pasa por un sistema denominado cocina solar. Las cocinas solares no usan ningún tipo de combustible y por tanto no contaminan nada, siendo una solución sostenible en los países en vías de desarrollo, especialmente en aquellos lugares en los que se goce de mucho Sol. Así pues, debido a la intermitencia del Sol, se debe disponer de otro medio de cocción complementario para los días en los que la cocina solar no pueda trabajar (Lecuona-Neumann, Abril de 2010).

3. COCINA SOLAR

3.1. INTRODUCCIÓN A LA COCINA SOLAR

Una cocina solar es un artilugio que usa la radiación solar que llega a la Tierra y la transforma en energía térmica, permitiendo así cocinar alimentos, calentarlos una vez cocinados o eliminar posibles microorganismos presentes en la comida. Es una manera simple y barata de cocinar, puesto que una vez adquirida la cocina solar, no hay gasto de ningún tipo, lo único que requiere es un mantenimiento periódico. Sin embargo, es una manera más lenta de cocinar que a la que estamos acostumbrados, pero con el adecuado conocimiento de los tiempos de cocinado no será una tarea difícil.

3.2. PRECEDENTES DE LA COCINA SOLAR

Para conocer los orígenes de la cocina solar cabe decir que a finales del siglo XVII el físico E. W. Von Tschirnhausen (1652-1708) llevó a cabo los primeros estudios del uso de la radiación solar como medio para calentar un determinado material. En Dresde (Alemania) construyó un horno con un espejo cóncavo de 1,6 metros de diámetro con el objetivo de cocer barro para realizar cerámica y en 1774 el inglés Joseph Priestley también construyó un horno solar que alcanzaba los 1700°C⁶.

Unos años antes, en 1767 Horace de Saussure⁷, un naturalista suizo, diseñó el primer colector plano de la historia a través de una caja negra con tapa de vidrio. Mediante determinadas mejoras logró que se alcanzase una temperatura de unos 110°C en su interior. Comprobó que la influencia de la temperatura ambiente no era demasiado alta, pues subió a lo alto de un pico suizo y comprobó que aunque la temperatura exterior era de 1°C, en el interior de la caja se superaban los 87°C y cuando la temperatura ambiente ascendía a los 6°C seguía consiguiendo la misma temperatura en el interior.

Alrededor de 1830 el astrónomo inglés John Fredrick Herschel retomó la idea de la caja solar y logró, en Sudáfrica, cocinar un huevo duro en agua hirviendo gracias al Sol y a su artilingio. Posteriormente, Augustin Mouchot aprovechando los estudios realizados por Horace de Saussure realizó el primer motor solar mediante un reflector parabólico y una caldera que alimentaba a un motor a vapor, con lo que ganó una medalla en la Exposición Universal de 1878. Simultáneamente el inglés William Adams experimentó en la India una cocina compuesta por cristales en forma de pirámide invertida, de modo que los rayos solares se centraban en un recipiente con alimentos, consiguiendo cocinar un buen número de raciones de comida en dos horas aproximadamente.

En 1881 Samuel Pierpont Langley subió al Monte Whitney (California) en una expedición tratando de aprender más sobre la radiación solar y su forma de impactar en la atmósfera terrestre. A pesar de las duras condiciones climatológicas del lugar completamente nevado, no sólo tomó buenas lecturas de sus instrumentos, sino que además observó que el agua que llevaba en un frasco de cristal comenzó a hervir al estar expuesto a la radiación solar. Este hecho reclamó la atención de los expertos que comenzaron a plantearse el gran potencial de la radiación solar.

La cocina solar comenzó a expandirse por tierras en vías de desarrollo, como las colonias francesas. Sin embargo, en la época de la Revolución Industrial en los países desarrollados las fuentes de energía más usadas fueron el petróleo y el carbón, con lo cual no se desarrollaron ni investigaron otros tipos de energía y la cocina solar no tuvo ningún impacto.

Poco a poco, durante el siglo XX, la idea de la cocina solar se fue reforzando en Europa, E.E.U.U., India y China. Estos dos últimos países tomaron la iniciativa, aumentando de tal modo las investigaciones que en 1945 salió al mercado en la India la primera cocina solar, llamada Sri M.K. Gosh, de tipo caja, creada para combatir la deforestación. En las décadas posteriores tanto la India como China siguieron apostando por el desarrollo de las cocinas solares.

Mientras tanto, María Telkes⁸, una físico-química nacida en 1900 en Hungría, viajó a Estados Unidos donde comenzó una serie de investigaciones que la llevarían a ser

considerada la pionera de la cocina solar moderna. Simultáneamente a la salida al mercado de Sri M.K. Gosh, María Telkes buscaba la creación de una cocina solar que se pudiese usar en los hogares y elaboró una caja de madera con materiales reflectantes y aislantes, con un vidrio de la parte superior de la caja, consiguiendo así la concentración de los rayos solares. Tal fue el éxito que actualmente se siguen usando modelos prácticamente iguales a aquel.

A partir de la mitad del siglo XX se han ido produciendo un gran desarrollo y expansión de la cocina solar gracias a las Naciones Unidas, que comenzó a luchar contra el hambre en las zonas más pobres del mundo, y a la crisis del petróleo de 1973, que hizo que la sociedad cuestionase si el uso de petróleo y carbón era una manera ilimitada, respetuosa y por tanto viable de seguir produciendo energía. En efecto, se demostró todo lo contrario: que los combustibles fósiles son limitados, muy nocivos para el medio ambiente en el proceso de obtención de energía a partir de ellos y lógicamente, no es viable seguir usándolos en las cantidades que se consumen actualmente.

En 1987 un grupo de diecisiete pioneros de la cocina solar fundaban SCI (Solar Cookers International) en el Central Valley de California. Gracias a su amplio conocimiento en dicha materia, comenzaron a crear manuales sobre las cocinas solares para ayudar a otras personas a usarlas y también comenzaron a producir cocinas en forma de caja similares a la desarrollada unos años atrás por Barbara Kerr y Sherry Cole, cocinas tipo caja muy eficientes que sirvieron de apoyo y base a toda investigación o desarrollo posterior.

3.3. LA COCINA SOLAR EN LA ACTUALIDAD

Hoy en día, cantidad de compañías producen cocinas solares a precios muy asequibles en países como China o India, de hecho entre los dos países se estima que hay en uso unas 100.000 unidades actualmente. También son muy frecuentes en países africanos como Kenia, Uganda, Etiopía, Burundi, Ruanda, etc. con iniciativas como Kakuma Refugee Camp, un proyecto de SCI que en 2004 daba asilo y alimento a unas 90.000 personas en total y que en la actualidad ayuda a unas 15.000 familias⁹.

La cocina solar ha ido implantándose progresivamente en países en vías de desarrollo como un medio cotidiano de cocina, no como algo excepcional. Son muy usadas en infinidad de países africanos (Malí, Tanzania, los anteriormente nombrados, etc.) y asiáticos (Nepal, India, Vietnam, etc.).

Los recursos naturales de estos países, como la leña, cubren todas las necesidades energéticas de sus habitantes. Aunque a priori no parezca algo significativo, hay que ser conscientes de que el humo que produce el fuego al quemar la leña tiene consecuencias muy graves, produciéndose por esta causa millones de muertes al año.

Usualmente las cocinas solares llegan a los países que las necesitan de manos de ONGs que además intentan suministrarles alimentos en la medida de lo posible. Así pues, en numerosas ocasiones se han formado campamentos que sirven de hogar y refugio para personas sin acceso a los alimentos.

Son especialmente conocidos los creados por SCI, entre los que cabe destacar uno situado en Chad que da cobijo y alimento a unos 50.000 refugiados de Darfur (víctimas de un conflicto bélico entre dos grupos sociales, los Yanyauid y los Baggara) y otro en Nepal que ayuda a alrededor de 85.000 refugiados de Bhutan (sometidos a la represión de un grupo que intenta establecer la independencia de Assam). Tampoco hay que olvidarse de otras ONGs o iniciativas solidarias que ayudan activamente a las personas más necesitadas, como pueden ser la Fundació Sol Solidari, Sáhara Solar o Solar Household Energy.

Aunque parezca que la cocina solar está bastante extendida no es así, de hecho hay estimaciones de que se podrían salvar unos 4 millones de vidas al año en el Tercer Mundo si las cocinas solares estuviesen al alcance de aquellos que la necesiten¹⁰. Por ello, es importante la colaboración o donaciones privadas, ya que los intereses de los países desarrollados distan mucho de ayudar a la población desnutrida del mundo.

3.4. TIPOS DE COCINA SOLAR

Para realizar una clasificación correcta de las cocinas solares en primer lugar debemos dividir las en tres grandes grupos: directas, indirectas y de acumulación (Lecuona-Neumann, Abril de 2010).

Las **cocinas solares directas** son aquellas en las que se calienta directamente el alimento. Dentro de ellas podríamos hacer tres distinciones:

-Gran aislamiento o cocinas de calor retenido: son cocinas solares cuyo principio de funcionamiento es la acumulación de calor. Para eso tiene la forma de una caja que posee hasta tres capas de vidrio en las paredes por las que accede la radiación al interior (normalmente la pared superior). Las paredes laterales han de tener una gran reflectividad para que el alimento o la olla reciban la mayor cantidad de radiación posible. Por último, la olla y la pared inferior donde va apoyada la olla o el alimento suelen ser de color negro para tener una gran absorbancia. Entre las paredes se suele colocar un buen aislante, como la fibra de vidrio, para que pueda aguantar las temperaturas alcanzadas además de minimizar las pérdidas de calor. Este tipo de cocinas solares suele llevar al menos un reflector que concentre en mayor medida los rayos solares hacia el interior de la caja.

El principio de retención del calor se basa en el cambio de longitud de onda que sufren los rayos solares al atravesar el cristal en dirección a la olla, de modo que una vez dentro de la caja la radiación infrarroja emitida por las paredes interiores de ésta, no puede atravesar el cristal para salir al exterior. Así pues, las paredes se van calentando y radiando hacia el alimento u olla, con lo que se puede alcanzar temperaturas de hasta 120°C, con un crecimiento lento y progresivo que facilita una cocción lenta del alimento sin que llegue a quemarse. Se suelen usar ollas o cazuelas de cobre o aluminio para cocinar, debido a sus altas conductividades térmicas. Además es necesaria una superficie exterior negra, lo cual ayudará a reducir el tiempo de cocinado.

Como se basan en la acumulación de una gran cantidad de calor en su interior también se les suele llamar hornos solares. Por ese calor concentrado, resulta difícil realizar acciones tan sencillas como puede ser mover el alimento o sazonarlo. Las ventajas

de este tipo de cocina son que no hace falta una orientación al Sol muy frecuente (una vez cada una o dos horas), que es muy barata, de sencillo manejo y como tiene la capacidad de captar tanto la radiación directa como la difusa se puede cocinar en días nublados, etc.



Figura 14.- (a) Cocina tipo gran aislamiento u horno solar. Fuente: <http://omar-cocina-solar.blogspot.com.es>. (b) Cocina tipo gran aislamiento u horno solar. Fuente: <http://www.basurillas.org/cocina-y-horno-solar-reciclinventores-de-coin-y-totalan>

-Gran concentración: son cocinas solares cuyo principio de funcionamiento es la concentración de los rayos solares en un punto determinado que suele ser la olla. Esto significa que tendremos una estructura, normalmente con forma parabólica, formada por materiales muy reflectantes que rodeen a una olla negra, de tal modo que ésta absorba la mayor cantidad de radiación posible.

No se dispone de cobertor lo cual facilita la labor de cocinar. Es una cocina de alta potencia que permite alcanzar temperaturas superiores a las de los hornos solares, por lo que se puede freír o asar, alcanzando unos 200°C en el interior de la olla en días soleados.

Pese a estas ventajas, también tiene inconvenientes que han de ser descritos. En primer lugar, necesita atención constante para que no se queme el alimento y porque su orientación al Sol debe hacerse cada diez o quince minutos como máximo. Además no permite cocinar en días nublados ya que lo que ocurre en este tipo de días es que la radiación que llega es la difusa y como se mueve en todas las direcciones es imposible concentrarla.



Figura 15.- Cocina solar de gran concentración o disco parabólico. Fuente: <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.com.es/2012/07/cocina-solar.html>

-Intermedias: son cocinas solares que combinan ambas tecnologías, esto es, un gran aislamiento y la concentración de los rayos solares en un determinado sitio para conseguir ciertas ventajas particulares.

Estas cocinas solares están compuestas por una lámina de cartón corrugado, recubierta de un material reflectante (normalmente papel de aluminio) para dirigir los rayos solares hacia el recipiente con el alimento. Además, para retener el calor, se favorece el efecto invernadero, introduciendo normalmente la olla o cazuela en una bolsa de plástico transparente.

Como están hechos de un material muy ligero, como el cartón, son flexibles, portátiles y de coste muy económico, por ello es el modelo de cocina solar más extendido mundialmente. También influye que sean cocinas más seguras para la vista, sin tanta opción a producir quemaduras y que su uso sea muy básico, pues no se necesita apenas orientarla durante el cocinado.

Como inconvenientes, hay que decir que la calidad de los materiales usados en su construcción hace que normalmente tengan poca vida útil y que no sea posible superar los 100°C, aunque muchas poblaciones solo necesitan superar los 70°C para eliminar bacterias y microorganismos del alimento, ya que por su cultura no cocinan a grandes temperaturas.



Figura 16.- (a) Cocina solar intermedia. Fuente: http://solarcooking.wikia.com/wiki/Compendium_of_solar_cooker_designs (b) Cocina solar intermedia HotPot. Fuente: <http://www.terra.org/categorias/articulos/cocinando-con-el-sol>

Tal y como se dijo antes, también existen **cocinas solares indirectas** que se basan en usar un fluido caloportador, el cual es bombeado por un circuito cerrado desde un colector solar hasta el objeto que queremos calentar. Los colectores que pueden ser usados son muy variados: planos, de vacío, de concentración cilindro-parabólicos o paraboloides de revolución.

Como es de esperar, este tipo de cocina es más cara que las indirectas pero ofrece una ventaja a tener muy en cuenta: se puede cocinar bajo techo.

Por último, cabe mencionar la **cocina solar de acumulación** que se basa en calentar una determinada masa exponiéndola al Sol para que el calor que ésta ha absorbido sea liberado posteriormente. Cuanto más tarde se libere dicho calor, mejor deberá ser el aislante térmico para evitar las pérdidas en la medida de lo posible.

Si se quiere cocinar cuando hay Sol, el propio alimento tiene una masa térmica aceptable, por lo que si se le cubre con mantas, paja u otro tipo de aislante se logra sin mayor dificultad que permanezca caliente varias horas. Por el contrario, si se trata de cocinar o calentar cuando no haya Sol, como en la cena o desayuno, se necesita un material extra para acumular el calor. A priori el agua parece un buen fluido para acumular el calor pero se evapora fácilmente por debajo de los 100°C, con lo que habría que cerrar el recipiente donde se encuentre y al aumentar la temperatura podría ocasionar problemas de seguridad difícilmente atajables en el entorno doméstico.

Por ello se han usado materiales como la arena o aceites usados de coche pero que, además de contaminar la comida, son caros y se degradan. Por ello entraron en juego los PCM (Phase-Change Materials), materiales con alto punto de fusión capaces de retener grandes cantidades de energía liberada cuando el material cambia de fase sólida a líquida o viceversa.

Poniendo atención ahora en la **cocina solar del presente trabajo** lo cierto es que no puede ser clasificada en ninguna de las categorías descritas. Es un tipo de instalación que todavía no se comercializa, basada en un panel solar fotovoltaico de 2 m² que abastece de corriente eléctrica a una resistencia, la cual transmite el calor al fluido. Como se comentaba, es una cocina poco utilizada, probablemente por el mayor desembolso económico que hay que hacer inicialmente, pero terminará por afianzarse en los países menos desarrollados gracias a las ventajas que tiene: se puede cocinar bajo techo, se puede manipular el alimento con facilidad, se puede usar la energía sobrante del panel fotovoltaico para otros usos domésticos, etc.

3.5. LA COCINA SOLAR: SOCIEDAD, MEDIOAMBIENTE Y ECONOMÍA.

La implantación de la cocina solar va a velocidades muy distintas según el tipo de sociedad en la que uno se fije. En Europa y América del Norte (EEUU y Canadá), nadie suele hacer uso de ella ya que en primer lugar, el clima solo permite cocinar unos 8 meses al año en los lugares menos idóneos de estos países y en segundo lugar, son sociedades en las que se tiene un fácil y barato acceso a otras fuentes de energía para cocinar como gas o electricidad.

Por el contrario hay zonas muy buenas para el uso de la cocina solar, tales como Asia, África y Latinoamérica, ya que los mejores emplazamientos son aquellos comprendidos entre latitudes de 40° y el ecuador. A la buena posición de estos lugares hay que sumar que para una gran parte de la población es difícil acceder a fuentes

convencionales de energía y en caso de poder hacerlo, son muy caras y les lleva un gran sacrificio.

Es muy importante el papel de las ONGs y el de las inversiones privadas, como se ha destacado antes, pues son quienes se encargan de promover la cocina solar en las sociedades más necesitadas. Hay ONGs como SCI, muy centrada en el continente africano, que han establecido campamentos, como los mencionados en el apartado 3.3, alrededor de cocinas solares gracias a las que se alimenta diariamente a cientos de personas, de hecho se estima que alrededor de 300.000 personas se benefician de los proyectos de esta ONG¹¹.

Se cree que entre India y China, el número de cocinas solares que poseen se cuentan por millones y es que hay que destacar que es un artificio cuya rentabilidad no se hace esperar demasiado, ya que a los 12-15 meses se ha recuperado la inversión inicial. Por tanto, no hay ningún inconveniente de peso que haga no confiar en las cocinas solares.

A todo lo anteriormente explicado hay que añadir los beneficios ambientales y para la salud. Se evitarían millones de muertes al año por inhalación de humos pero además se ahorrarían muchísimas emisiones de CO₂ a la atmósfera.

3.6. COCINAR CON COCINA SOLAR

Normalmente se tiene la impresión de que con una cocina solar es difícil y lento cocinar. Si bien es verdad que no es la forma más rápida de cocinar, también cabe destacar que conociendo los tiempos de cocción de los alimentos se convertirá en una tarea sencilla y más rápida de lo que se piensa.

De hecho, la cocina solar permite cocinar casi cualquier día del año, pero para los días que no se pueda cocinar se necesitará un medio de cocinado complementario, tal como un combustible fósil o leña que permita cubrir las necesidades en días nublados o en los que haya lluvia y/o exceso de viento. El resto de días, en los que la incidencia de los

rayos solares sea la suficiente, se podrá cocinar los alimentos sin necesidad de preocuparse del frío que haga, pues éste no es un impedimento para las cocinas solares.

Además de la cantidad de sol, viento y lluvia que haya, aparecen otros parámetros de interés que nos dicen si podemos cocinar de manera más rápida o lenta, como por ejemplo el espesor de la olla que se use, la cantidad de comida que se quiera elaborar o la cantidad de agua que se añada. La Figura 17 es muy representativa:

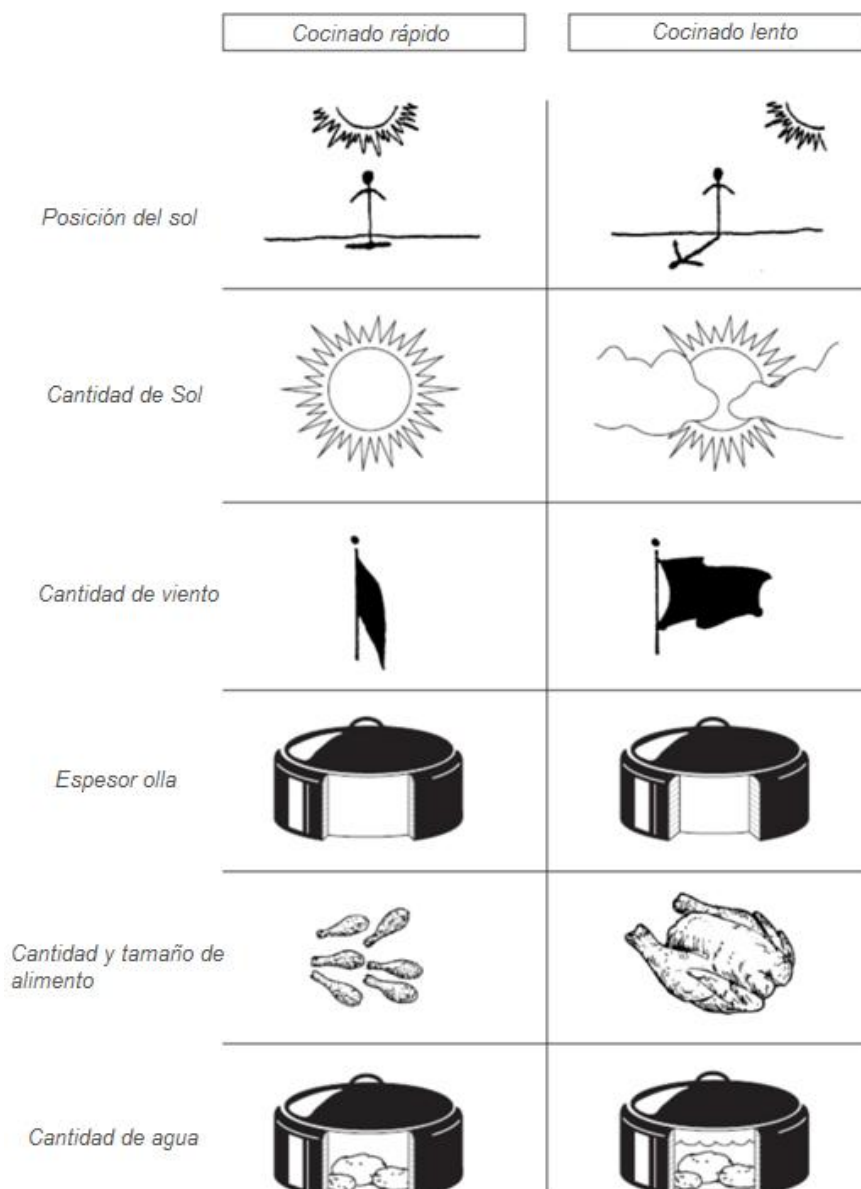


Figura 17.- Parámetros de interés en una cocina solar. Fuente: SCI, http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_cooking_frequently-asked_questions

Los únicos momentos en los que no se puede cocinar es cuando el día sea totalmente nublado y/o cuando la posición del Sol sea tan baja (cercana al horizonte) que la incidencia de los rayos solares no sea suficiente. Como norma general, se dice que se puede cocinar cuando la sombra que producen los rayos solares sobre el objeto de cocina (olla, cazuela) sea de igual o menor tamaño que el mismo objeto.

Por tanto, se deduce que cuanto más intenso sea y más alto esté el Sol y por consiguiente menos sombra produzca, será el momento óptimo para cocinar, oscilando entre las 10:00h y las 14:00h, horas solares.

Respecto a la cocción de los alimentos, usualmente comienzan a cocerse a partir de los 50°C y la eliminación de gérmenes y bacterias se produce alrededor de los 74°C. Una vez alcanzada esta temperatura, si es posible mantenerla unos cuantos minutos, se podrá estar seguro de que el alimento o fluido a consumir va a ser saludable y no traerá consigo ningún tipo de enfermedad.

Como es lógico, al igual que con las formas de cocinado que se usan en las sociedades desarrolladas, los tiempos, temperaturas y modos de cocinar dependen del tipo de alimento que se quiera elaborar. Sin embargo, se puede generalizar que las temperaturas óptimas de cocinado se encuentran entre los 80°C y los 100°C. Los alimentos se cocinarán más rápido cuanto mayor sea la temperatura, pero hay que tener presente que por encima de los 100°C muchos alimentos comienzan a perder nutrientes básicos, por lo que es una práctica poco aconsejable.

Una cocina solar no sirve únicamente para cocinar alimentos, sino que también permite potabilizar el agua, de tal modo que se reduzcan las dificultades para acceder a un recurso tan básico, necesario y fundamental, pero a la vez escaso en países en vías de desarrollo.

El agua no exige alcanzar unas temperaturas tan elevadas para su consumo, de hecho no es necesaria su esterilización, la cual destruye totalmente las esporas de los microorganismos presentes en el alimento, sino que sirve con alcanzar la temperatura

suficiente para su pasteurización, proceso térmico cuyo objetivo es reducir la presencia de agentes patógenos del alimento.

Por tanto, con alcanzar unos 65°C y mantenerlos alrededor de 20 minutos sería suficiente para potabilizar el agua. Pese a ello, suele ser una tarea difícil medir y controlar esa temperatura, por lo que se suele optar por elevar la temperatura hasta los 100°C. De esta forma el agua hierve, asegurando a través de su esterilización que se haya producido la potabilización del agua.

La Figura 18 permite comprender mejor los rangos de temperaturas de la cocción de alimentos y potabilización del agua:

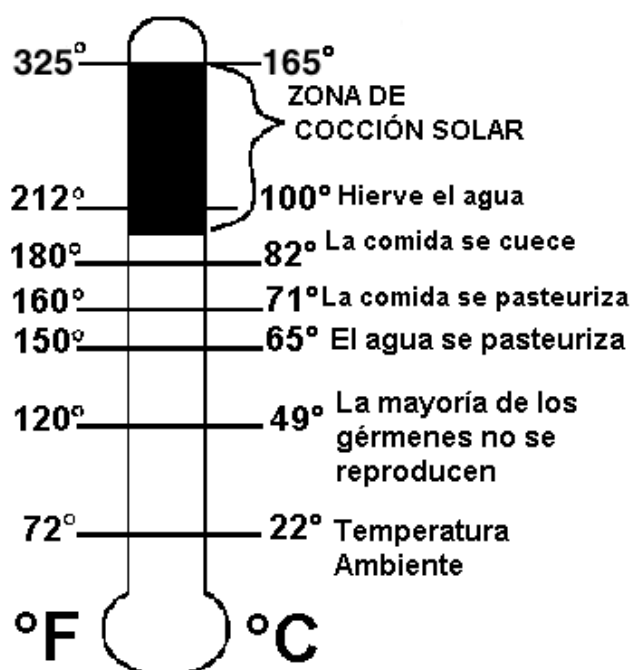


Figura 18.- Temperaturas de interés para cocinar alimentos o potabilizar agua. Fuente: <http://solarcooking.org/espanol/solarcooking-faq-span.htm>

3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA COCINA SOLAR

A lo largo del trabajo se han ido mencionando ventajas y desventajas de las cocinas solares, pero se considera que es bueno reunir y resumirlas en los siguientes puntos:

VENTAJAS

- Permite cocinar sin dependencia de combustibles fósiles, lo que ayuda a evitar la deforestación y por consiguiente la pérdida de fertilidad del suelo en el que crecerán sus alimentos más básicos.
- Son económicas, pues solo hay que hacer un desembolso inicial. Durante su uso, solo es necesario algún gasto proveniente del mantenimiento de la instalación. El Sol es un recurso gratuito y abundante.
- Son sencillas de usar.
- Cocinar con fuego puede ser peligroso y si éste se va fuera de control puede dañar viviendas, jardines, etc. Las cocinas solares no tienen este inconveniente.
- La cocina solar permite la conservación de nutrientes y vitaminas fundamentales, que las cocinas con fuego eliminan debido a las altas temperaturas alcanzadas.
- Miles de mujeres y niños evitarían la tarea diaria de recorrer decenas de kilómetros en busca de combustibles fósiles o leña para poder cocinar, dejándoles más tiempo libre para otras tareas y ahorrándoles los problemas de espalda que la carga de leña causa. Además, como estas cocinas no necesitan una vigilancia de manera continuada, se puede sacar más tiempo aún para otros quehaceres.
- Al contrario que la leña o combustibles fósiles, no contaminan en absoluto, evitando unas 4 millones de muertes al año por inhalación de humos y enfermedades relacionadas procedentes de la combustión.
- Como potabilizar el agua no cuesta dinero con este sistema, se evitará el consumo de agua no potable. Además, las familias se alimentarán de comida más variada cubriendo así las necesidades de nutrientes de nuestro organismo, puesto que suelen ser reticentes a cocinar varias veces al día por el gasto en combustible al que acostumbran.
- El mantenimiento de la instalación es sencillo y los elementos que la componen son fáciles de limpiar, hecho destacable para mujeres que tienen que recorrer varios kilómetros en busca de agua.
- Se puede abrir un gran mercado que cree empleo en torno a la cocina solar: fabricación, reparación, ventas, etc.
- Posibilidad de fabricación casera, con el uso de materiales accesibles y baratos.

- Las cocinas solares no solo se utilizan para cocinar, ya que los hornos en forma de caja también se usan para secar ropa o alimentos, calentar alimentos y otras tareas cotidianas que requieran calor.

DESVENTAJAS

- La más importante es que se necesita Sol y existe una gran influencia de otros agentes meteorológicos como nubosidad, viento, lluvia, etc. Por ello, no siempre se podrá cocinar con este método y ha de haber otro sistema de obtención de energía complementario (normalmente combustibles fósiles o leña).
- No se puede usar de noche, si bien hay ciertos sistemas que permiten tener el alimento caliente hasta la cena o desayuno del día siguiente.
- Hay que cocinar fuera de la vivienda y si hace frío puede ser una tarea muy incómoda. Sin embargo, con el tipo de cocina que en este trabajo se expone se puede cocinar dentro de la vivienda, como se explicará más adelante.
- Son más lentas que las cocinas de fuego o vitrocerámicas.
- Hay que hacer una elevada inversión inicial, que se irá amortizando con el tiempo.
- Su eficiencia no es constante, ya que en las horas cercanas al mediodía es cuando mejor trabajan. Algunos tipos de cocinas solares deben ser orientados varias veces al día para aumentar su eficiencia.
- No son recomendables para latitudes elevadas, puesto que cuanto más lejos de la línea del ecuador, más diferencia de radiación solar habrá entre los meses en los que la radiación es máxima y mínima. Cuanto más cerca estemos de la línea ecuatorial, más constantes serán estos valores.
- Escaso conocimiento de la sociedad de la cocina solar, por lo que su implantación está siendo lenta.
- Son más voluminosas y aparatosas que las cocinas convencionales, por lo que tiene una difícil implantación en áreas urbanas, al contrario que en las zonas rurales, puesto que se necesita un espacio exterior donde colocar la cocina y esto no es habitual en ciudades donde la gente suele vivir en pisos.

4. UNA COCINA SOLAR ESPECIAL

Como se ha mencionado anteriormente, todos los sistemas de cocina solar necesitan de un espacio al aire libre, lo más despejado posible para que no haya árboles ni edificios que produzcan sombra sobre la cocina solar y así baje su eficiencia de manera considerable.

Además, aunque las cocinas solares más comunes, como las de horno solar o las de disco parabólico, ofrecen una cierta independencia, ya que se puede dejar cocinando el alimento mientras se hacen otras tareas, requieren que el alimento esté en el exterior de la vivienda cocinándose y cada vez que se quiera revisar, habrá que salir al exterior. Incluso con las cocinas de acumulación de calor ocurre esto, no con el alimento, pero sí con la masa caloportadora.

El tipo de cocina solar analizada en este trabajo es totalmente innovadora respecto a este aspecto. Como se ha explicado anteriormente, esta cocina solar estará dotada de un panel solar fotovoltaico, una resistencia térmica y una olla recubierta de aislante o un recipiente tipo termo-vaso Dewar. Pues bien, en este caso sólo el panel solar fotovoltaico ha de encontrarse en el exterior de la vivienda, en un espacio despejado de edificios o árboles que le puedan dar sombra, mientras que la olla o el termo con el alimento en su interior pueden estar en la casa, lo que significa que no es necesario salir de la vivienda durante el cocinado del alimento.

El apelativo de ultra-bajo consumo hace referencia a que para lograr cocer con energía fotovoltaica, reconocida ésta como de alto precio de adquisición, es necesario que el consumo para la cocción sea ultra bajo.

La cocción consiste en alcanzar temperaturas próximas a la de ebullición del agua, siendo el consumo de las transformaciones químicas diminuto si se compara con las pérdidas de calor. Por ello éstas han de minimizarse. Ello va a necesitar de dos conceptos: minimizar la transferencia de calor al ambiente y minimizar la evaporación del agua.

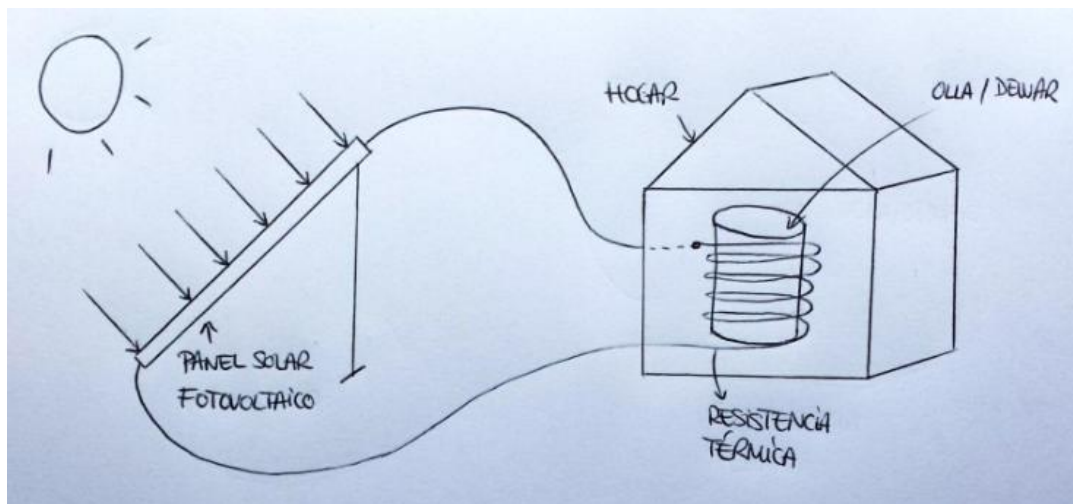


Figura 19.- Esquema de la cocina solar analizada en este proyecto.

Esto se traduce en que en los días de frío, viento o con otra serie de inclemencias meteorológicas, no habrá que sufrir las condiciones climatológicas pues solamente el panel solar estará en el exterior y éste no debe ser manipulado salvo en operaciones de limpieza o inclinación.

5. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se van a describir las características que tienen los elementos de la instalación anteriormente nombrados y en caso de que tengan alguna restricción también será expuesta. Además, se mostrarán tablas y comentarios que servirán para comparar el mercado de estos elementos y en caso de que se quisiese construir una cocina solar, dónde sería más recomendable acudir a la hora de comprar el equipo.

-Nota: los precios mostrados en el Capítulo 5 proceden de las páginas del establecimiento o compañía que sea mencionado. Se añade el enlace de su página Web.

5.1. PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Un panel solar fotovoltaico es un artilugio formado por una serie de células fotovoltaicas que tienen la capacidad de producir electricidad en presencia de luz solar, gracias al denominado efecto fotoeléctrico. Esto es, la emisión de electrones por parte del panel al incidir sobre él la radiación solar, de modo que los electrones se ponen en movimiento por el panel y se establece un circuito, el cual pasa por la máquina o artilugio que se quiere hacer funcionar.

Es importante conocer los aspectos más destacados de un panel fotovoltaico para saber en cuáles se deben hacer más o menos hincapié a la hora de cumplir nuestras necesidades¹²:

- Material:

El material más usado es el silicio, pero hay dos variantes, monocristalino o policristalino. La gran diferencia está en el proceso de fabricación, estando la célula de silicio monocristalino compuesta por un solo cristal de silicio y la policristalina formada por un conjunto de cristales de silicio unidos entre sí. Debido a ello, cabe destacar que el Silicio monocristalino tiene un rendimiento ligeramente superior al policristalino, 15% frente a unos valores entre 11-14%, respectivamente, y por tanto también lo es su precio. Pese a estas diferencias, no es un factor determinante a la hora de comprar un panel solar a no ser que se disponga de poco espacio para la instalación y entonces sí será importante reducir la superficie de la placa, para lo cual se recurre al monocristalino.

- Número de células y tensión de trabajo:

Se dispondrá de una instalación aislada, por lo que el panel debe ser de 36 células y 12 V (hasta los 140 W) o 72 células y 24 V (en adelante).

- Potencia máxima:

Es la potencia que se dice que aporta el módulo pero no es estrictamente cierto. Si un fabricante ofrece una potencia máxima de 300 W por ejemplo, sólo se alcanzará dicha cifra bajo unas condiciones estándar que aparecen en pocas ocasiones: 1000 W/m² de irradiación, a 25°C de temperatura de célula, y una distribución espectral de 1,5 AM. Para este proyecto se buscará un panel de entre 200 W y 300 W de potencia máxima.

Hay otros dos aspectos significativos que ayudan a predecir el comportamiento del panel solar. Son la NOCT (Temperatura de Operación Nominal de la Célula), que conviene que sea lo más baja posible, ya que cuanto menos temperatura alcance el panel mejor trabajará, y el Coeficiente de Temperatura de Potencia que marca la pérdida de potencia de salida que se produce cuando las células superan los 25°C. De nuevo, cuanto menor sea este parámetro, mejor.

Por último, destacar que interesa que las tolerancias del panel sean positivas y que la eficiencia sea la mayor posible, pero se verá que no hay una enorme diferencia en el mercado.

Se comienza la búsqueda encontrando infinidad de fabricantes que, por motivos desconocidos, en los Data Sheet de los paneles no añaden la curva característica del mismo, la cual ayuda de manera notoria a saber la potencia que es capaz de dar un panel determinado a distintas irradiancias solares. Este aspecto ha hecho que la búsqueda se complique y al final se mostrarán un número de paneles menor del esperado en un principio.

En un principio se buscaron paneles solares de las marcas populares como Jinko Solar, Panasonic y Samsung, pero estas marcas suelen ofrecer paneles fotovoltaicos de alta potencia para módulos solares propios de una vivienda o incluso una planta de generación eléctrica. Aún así ofrecen paneles solares que se pueden adaptar a las necesidades de la instalación de este trabajo: Jinko Solar dispone de paneles de 210 W (JKM210M-72 en sus versiones monocristalinas y policristalinas), Panasonic comercia paneles de 230 W (VBMS

230AE0) y Samsung posee modelos de 235 W (LPC235S). Pese a ello se buscan otras marcas que puedan tener menos prestigio y por tanto sean más baratas.

Se han encontrado infinidad de empresas que producen paneles solares fotovoltaicos tales como Gloria Solar, Yingli Solar, Solaria, etc. pero las más atractivas son Eoply, Atersa y LDK. Todas estas compañías disponen de Data Sheet muy completos y curvas características de los paneles en la misma. Así pues, como Atersa es una empresa española y es de más fácil accesibilidad para adquisiciones en territorio nacional, es la primera opción a tener en cuenta.

Se puede usar una placa de 200 Wp, tal como A-200M del grupo Atersa, de 24 V, 72 células de monocristal. Su precio es de 388€, según la página oficial de precios¹³:

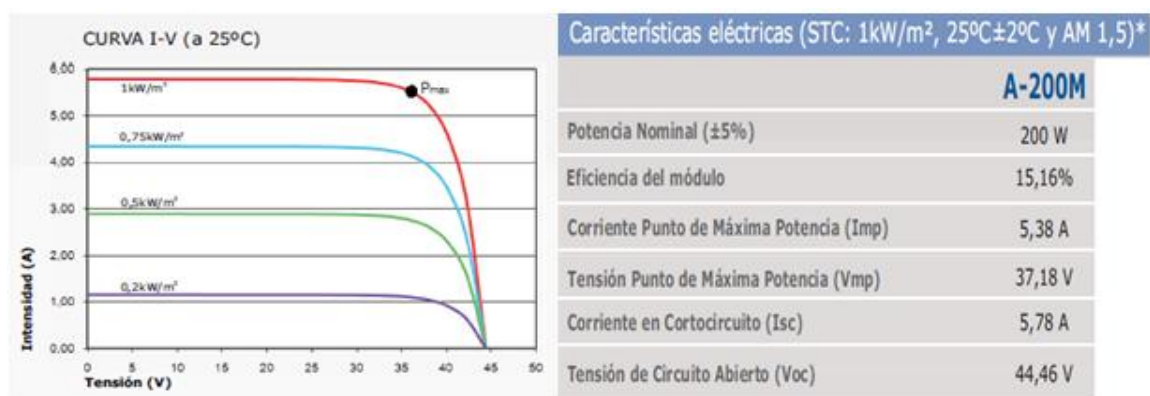


Figura 20.- (a) Curva I-V panel Atersa A-200M. (b) Características eléctricas panel Atersa A-200M. Fuente: Manual Atersa A-200M, <http://www.atersa.com/img/20132810463.pdf>

La misma empresa posee un modelo de 250 Wp de potencia máxima denominado A-250P, de material policristalino por lo que ofrece una alta fiabilidad.

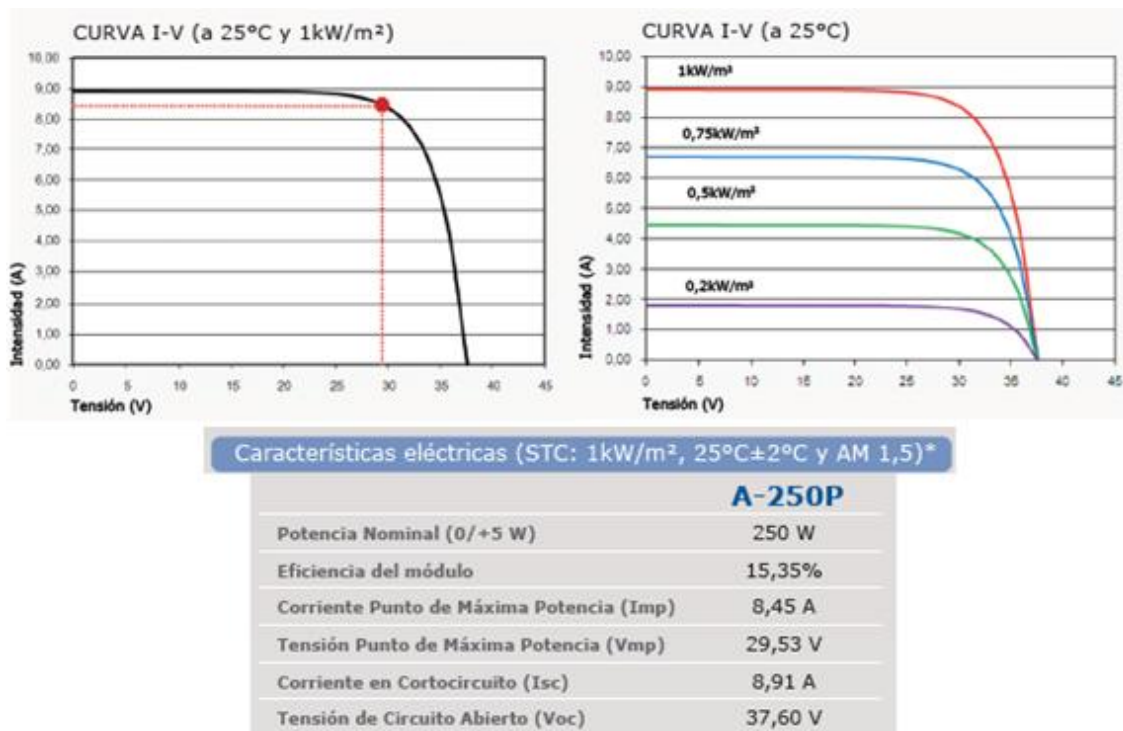


Figura 21.- (a) Curvas I-V panel Atersa A-250P. (b) Características eléctricas panel Atersa A-250P. Fuente: Manual Atersa A-250P, <http://www.atersa.com/img/201472320617.pdf>

La compañía LDK ofrece una placa de 230 Wp con una buena eficiencia y un precio de unos 350€.

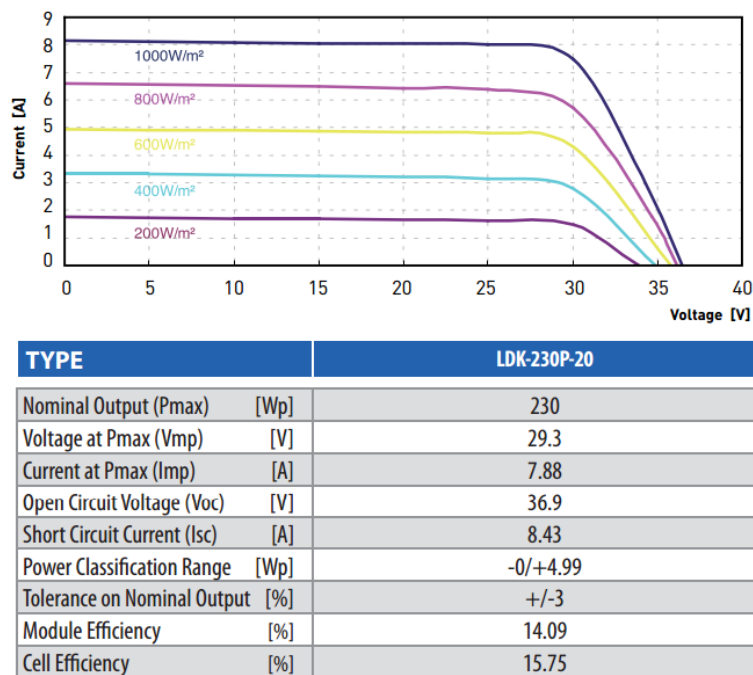


Figura 22.- (a) Curva I-V panel LDK-230P-20. (b) Características eléctricas panel 230P-20. Fuente: Manual LDK 230P-20, http://www.ldksolar.com/uploadfiles/down/LDK_230P_235P_20_Ontario_DCC_EN_V1_12_120229.pdf

La otra empresa de la que se habló, Eoply, ofrece un panel solar de Silicio monocristalino de 235W de potencia máxima.

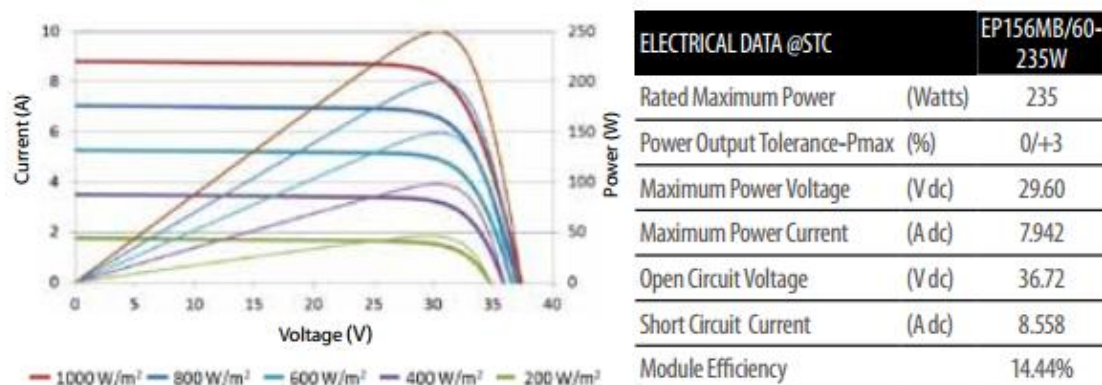


Figura 23.- (a) Curva I-V-P panel solar Eoply 235W. (b) Características eléctricas panel solar Eoply 235W. Fuente: Manual Eoply 235W, <http://www.eoply.com/Htdocs/manager/upfile/upfile/2013071050449437.pdf>

Sin embargo, como ya se dijo antes, se cree que lo más recomendable es intentar comprar el panel solar a una empresa española pues no habrá ningún problema a la hora de recibir o ir a recoger la mercancía, mientras que cuando se trata de pedidos extranjeros puede haber complicaciones al ser un paquete muy grande, como puede ocurrir con LDK y Eoply. Además, hay que añadir que ATERSA proporciona un presupuesto asequible y sus paneles son de muy buena calidad.

Pese a que con un panel de unos 250 Wp se podrían cubrir las necesidades de la cocina solar de este trabajo, se ha llegado a la conclusión de que sería mejor ampliar un poco la potencia máxima y elegir un panel de 300 Wp. Por ello, se cree que el panel más adecuado para nuestra instalación es el modelo A-300P ULTRA de ATERSA, con un precio de 363€ según la página oficial. Sus características se muestran a continuación.

Es de destacar que este precio resulta similar al precio de adquisición de cocinas solares térmicas en el mismo mercado español.

También es necesario comentar que una adquisición masiva y aún más optimizada puede permitir costes de adquisición menores, pudiendo llegarse a precios según estudios de mercado tan bajos como 0,5 €/Wp en origen.

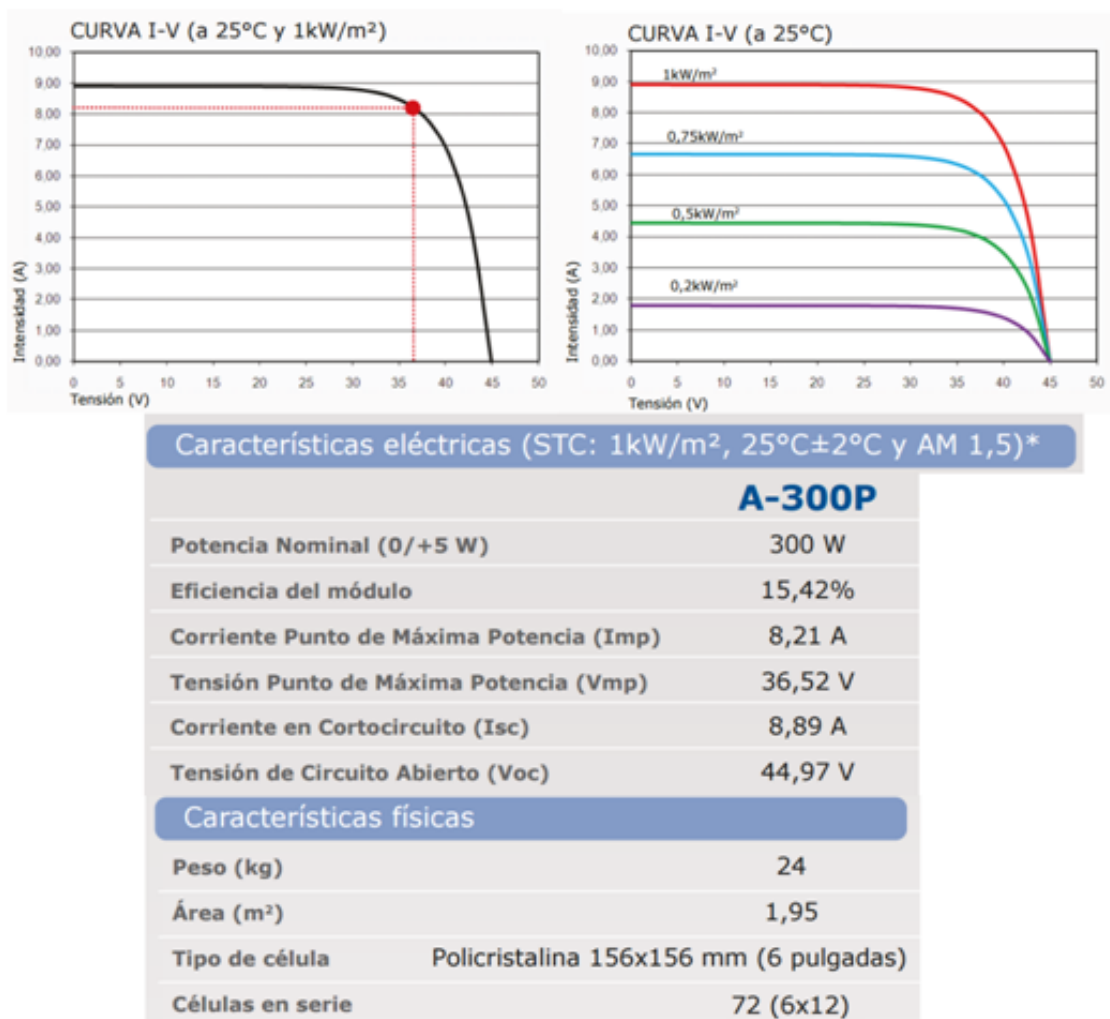


Figura 24. - (a) Curva I-V-P panel solar A-300P ULTRA. (b) Características eléctricas, térmicas y físicas del panel A-300P ULTRA. Fuente: <http://www.atersa.com/img/201325152950.pdf>

Con este panel se consigue cubrir las necesidades del sistema de cocina solar estudiado en este trabajo y además, los días en los que no haya una irradiación óptima, también se conseguirá generar más potencia que con uno de 200 o 250 Wp, aportando así garantías de poder cocinar la mayor parte de los días y evitándose la posibilidad de arruinarse la cocción por el paso de nubes.

5.2. SOPORTE DEL PANEL SOLAR

Lo más aconsejable para el panel elegido es una estructura de tipo triangular que permita regular su inclinación. Así, para el panel solar fotovoltaico de este trabajo se ha

decidido que lo más recomendable es orientarlo en cada estación del año, de modo que se pueda aprovechar en gran medida la irradiación solar pero tampoco se convierta en una tarea pesada la manipulación del panel solar. Está pensado para que sea un soporte de fabricación casera, puesto que no supone grandes complicaciones.

Se va a usar un panel solar fotovoltaico de 2 m^2 , en concreto el modelo ATERSA A-300P ULTRA, que tiene 1.955 mm de alto y 995 mm de ancho. Así pues, habrá que usar un soporte para el panel que tenga 1.800 mm de alto y 1.100 mm de ancho como el que se muestra en la figura siguiente:

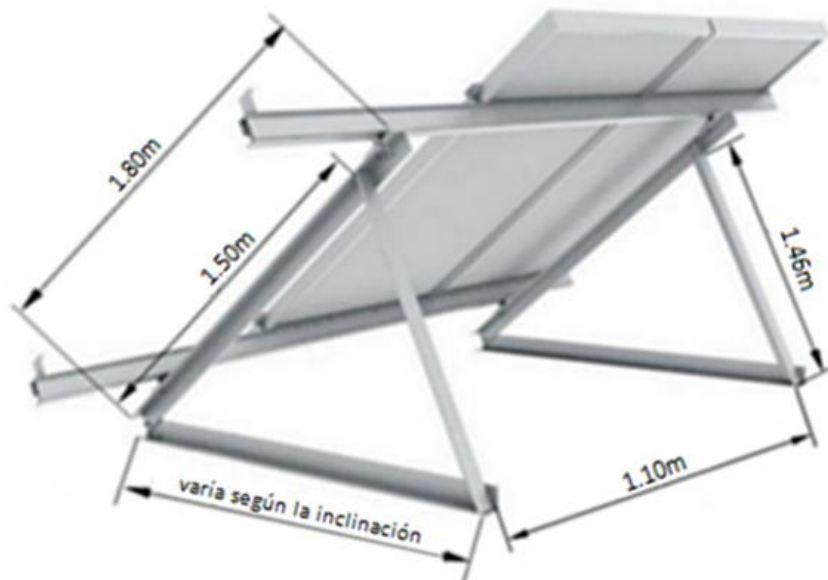


Figura 25.-Soporte del panel solar

Estará hecho de aluminio y en su base debe tener 3 ranuras para poder regular la inclinación. Para calcular la posición de esas ranuras hay que saber las 3 inclinaciones que se requieren para aprovechar mejor la irradiación solar, sabiendo que debe estar siempre orientado en dirección Sur.

Para conocer la inclinación óptima del panel se ha acudido a varias fuentes. Hay que destacar la información ofrecida por Damia Solar¹⁴, una tienda online de productos para las instalaciones solares, por lo que están especializados en ello. Sugieren que las inclinaciones óptimas del panel solar fotovoltaico han de ser la latitud del lugar en primavera y otoño, la latitud del lugar $+18^\circ$ en invierno y la latitud del lugar -18° en verano.

Además en las hojas de cálculo MathCad realizadas durante este trabajo, la primera parte de cada una de ellas se centra en la obtención de la irradiancia solar para el lugar y fecha de estudio. Se llegó a la conclusión de que el aprovechamiento óptimo de la irradiación solar se produce a esas mismas inclinaciones recomendadas por Damia Solar. Siendo el lugar donde se analiza esta instalación es la Universidad Carlos III de Madrid (Leganés) con latitud $40,3^\circ$ y longitud $-3,7^\circ$, las inclinaciones serán:

- Invierno: la inclinación debe ser la latitud del lugar $+ 18^\circ \rightarrow 58.3^\circ$
- Primavera-Otoño: la inclinación debe ser la latitud del lugar $\rightarrow 40.3^\circ$
- Verano: la inclinación la inclinación debe ser la latitud del lugar $- 18^\circ \rightarrow 22.3^\circ$

Así pues, se muestran los resultados de las inclinaciones óptimas y por tanto de las ranuras para cumplir estas inclinaciones, conociendo las medidas ofrecidas anteriormente:

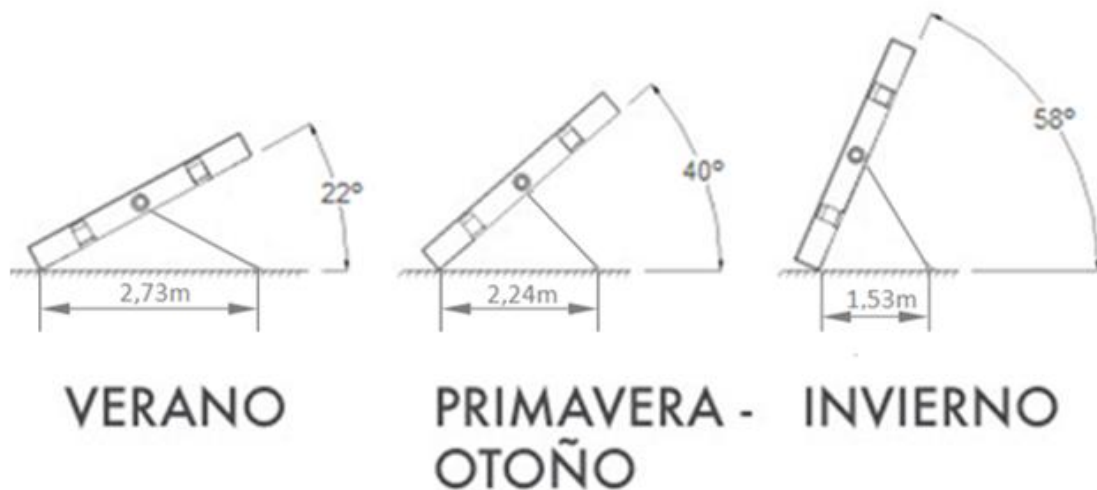


Figura 26.- Inclinaciones del panel solar y distancia de la ranura en función de la estación del año.

Ahora se va a analizar la fuerza que el viento va a ejercer sobre el panel y soporte. Es lógico pensar que el soporte debe llevar unas mordazas para sujetar el panel y además ha de estar anclado al suelo, de modo que no se pueda separar de él.

Así pues, hay varias fuentes que ofrecen la velocidad media y temperatura del viento según la zona y época del año que analicemos. En Madrid, la velocidad media del viento, en enero y julio, es $3,6 \text{ m/s}$ según datos de la Web WindFinder¹⁵.

Tomando como temperatura media de enero unos 7°C, la densidad del aire será del orden de 1,268 kg/m³. Hay que añadir, que aunque la velocidad media del viento sea unos 3,6 m/s, se pueden llegar a alcanzar rachas de viento de 10 m/s y como se debe analizar el caso más extremo, se toma esta velocidad como referencia para hacer los cálculos. Así pues, si se descompone el vector fuerza del viento, que se supone paralelo al suelo, se obtiene:

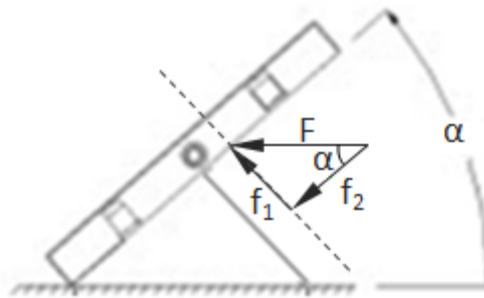


Figura 27.- Fuerzas del viento sobre el panel.

La fuerza que se va a analizar es la perpendicular al panel solar, pues es la que puede hacer que se levante, mientras que la paralela a él no hace ningún efecto importante.

$$f_1 = F \cdot \sin(\alpha) = (P \cdot S \cdot \sin(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) = P \cdot S \cdot (\sin(\alpha))^2 \quad (1)$$

Siendo:

- P: presión del viento (Pa)
- S: área de contacto (m²)
- α : ángulo de inclinación del panel solar (°)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (2)$$

Conociendo los datos necesarios:

- $\rho = 1,268 \text{ kg/m}^3$
- $v = 10 \text{ m/s}$
- $S = 2 \text{ m}^2$
- $\alpha = 58^\circ$ (invierno)

De (1) y (2) se obtiene:

$$P = 63,4 \frac{kg}{ms^2} = 63,4 Pa$$
$$f_1 = 91,19 N$$

El soporte del panel solar deberá aguantar una fuerza de 91,19 N perpendicular a él, empujándolo hacia arriba. Ésta será la fuerza máxima de modo que no es necesario analizar la fuerza para las demás estaciones porque van a ser menores.

Una vez encontrados y analizados el soporte y el panel solar fotovoltaico con el que se calentará el recipiente que contiene el alimento, hay que conseguir que la temperatura en el interior cuando sobre él cese el aporte de calor, perdure en el tiempo lo máximo posible, de modo que el alimento se pueda ir cocinando poco a poco. La capacidad del recipiente ha de ser aproximadamente de 3 litros para poder cocinar cómodamente.

Como las pérdidas de calor deben ser mínimas, es importante encontrar ollas que puedan ser recubiertas de aislante fácilmente, ollas que tengan su propio sistema de aislamiento o termos vasos Dewar que guarden el calor de manera muy eficiente.

5.3. VASOS DEWAR/TERMOS

En primer lugar, los vasos Dewar son recipientes diseñados para disminuir las pérdidas de calor en su interior con gran eficiencia. Su inventor fue el escocés James Dewar y su aplicación más común son los termos. Sin embargo, aunque sea la aplicación más conocida no es la más importante, ya que la base de la criogenia se encuentra en estos recipientes, que aíslan de tal forma que permite mantener materiales a la temperatura de ebullición del nitrógeno, es decir, -195,79°C.

Es un mercado reducido, en el que es complicado encontrar cosas de calidad al precio que realmente valen. Lo más destacable, dentro de lo que parece fiable, es lo siguiente:


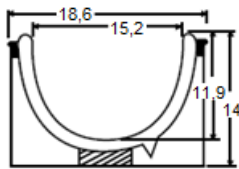
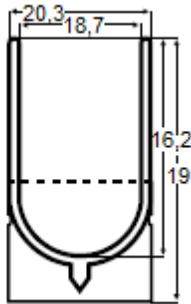

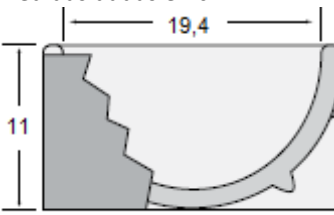
TIPO	ESTABLECIMIENTO	PRECIO	IMAGEN
Vaso Dewar de 3L	On-line: Solergraells ¹⁶	690€	
Recipiente Dewar ovalado de 1,9L (JZ-03771-05)	On-line: Cole-Parmer ¹⁷	423€ (470\$)	Medidas en cm 
Recipientes de Dewar de acero inoxidable de 3L (JZ-03774-06)	On-line: Cole-Parmer ¹⁸	1062€ (1180\$)	Medidas en cm 
Recipientes de Dewar para almacenamiento de 4L (JZ-03773-51)	On-line: Cole-Parmer ¹⁹	576€ (640\$)	-Diámetro cuello: 3 cm -Altura: 43,2 cm -Diámetro ext.: 19,4 cm 
Recipientes de Dewar para almacenamiento de 2L	On-line: Cole-Parmer ²⁰	450€ (500\$)	Medidas dadas en cm 

Tabla 2.- Tabla comparativa vasos Dewar

Como se puede observar, los frascos Dewar de criogenia son extremadamente caros para el uso que se le quiere dar. Seguramente sea el mejor artilugio posible para mantener el calor del alimento, pero no es recomendable su adquisición para operaciones de cocinado, pues es demasiado costoso y hay otros sistemas más baratos que podrán cubrir las necesidades de la cocina solar de este trabajo.

Otra opción, en lugar de los vasos Dewar destinados a la criogenia, es buscar termos de 3 litros de capacidad y con el cuello ancho para poder introducir y servir alimentos sin dificultad. Algunos de los termos encontrados se muestran en la siguiente tabla:

TIPO	ESTABLECIMIENTO	PRECIO	IMAGEN
Termo dispensador Olympia 3L	On-line: Nisbets ²¹	50,82€	
Termo de 3L – Handelsmarken GmbH	On-line: Amazon ²²	36,94€	
Termo de 3L – Relaxdays	On-line: Amazon ²³	27,31€	

Tabla 3.- Tabla comparativa termos

Sin embargo, no se encuentran termos con el cuello ancho para la correcta manipulación de los alimentos. A la conclusión que se llegó en este trabajo es que se podía simular el comportamiento de un artilugio tipo termo, como los mostrados en esta tabla, pero con forma más ancha y menos alta, del estilo de una olla.

Lo que hace a los termos tan peculiares son sus bajas pérdidas por conducción, pues sólo pierden calor por el cuello y por radiación, pero ésta no es tan importante. Pues bien, al aumentar el diámetro del cuello estas pérdidas se disparan de un modo que hace que pierda sus grandes capacidades aislantes, pero se analizará más adelante y se verá qué ocurre.

5.4. OLLAS-TERMO

Son ollas comunes, como las de cualquier hogar, pero con alguna diferencia, ya que una vez calentadas se introducen en un recipiente muy aislante para disminuir las pérdidas lo máximo posible sin ningún aporte de energía. Por tanto, hay que comprar ambos recipientes juntos porque el recipiente exterior tiene la forma exacta para que quepa la olla a la perfección. Lo más destacable es:

TIPO	ESTABLECIMIENTO	PRECIO	IMAGEN
Olla-termo con recipiente aislante KPX 3500 Shuttle Chef de 3,5L	On-line: Thermal Cookware ²⁴	216€ (240\$)	
Olla-termo con recipiente aislante marca Thermos (RPC-4500) de 4,5L	On-line: Amazon ²⁵	165€ (183\$)	
Olla-termo con recipiente aislante marca DreamPot de 3L	On-line: Dreampot ²⁶	170€ (189\$)	
Olla-termo con recipient aislante marca Tayama (TXM-50CF) de 5L	On-line: Ebay ²⁷	54€ (60\$)	

Tabla 4.- Tabla comparativa con recipiente aislante

5.5. OLLA CON AISLANTE

La última idea y con diferencia la más barata es usar una olla estándar de 3 litros de capacidad, recubierta con una serie de aislantes que ayudarán a minimizar las pérdidas de calor en el interior de ésta. Los posibles aislantes son muy variados, siendo los más destacados la lana de vidrio, el corcho, distintas espumas, etc., aparte de algún tipo de vacío que se le puede adherir entre el material aislante y la propia olla.

Lo primero por tanto es buscar una buena olla a un precio lo más reducido posible, pero no por ello que sea de mala calidad.

La opción más económica de las barajadas es la Magefesa Practika Plus – Olla rápida, 3,2 L²⁸, con un precio de 44,90€. En el otro extremo, por unos 129€ se encuentra el modelo WMF Perfect 3²⁹, de acero inoxidable 18/10 Cromargan, pero se escapa del límite de inversión que hay que dedicar a este objeto. Por ello, buscando un término medio se elige el modelo de olla rápida de Jata de 3 L³⁰ por un precio de unos 57€, cuyas características se indicarán más adelante. En cuanto a los aislantes que van a recubrir la olla:

- **Poliestireno expandido o extruído**

La propiedad más destacable de estos aislantes es que se pueden mojar sin perder propiedades, hecho muy significativo si se va a trabajar con fluidos. Es conveniente recordar las características más significativas de los tres tipos de poliestireno que se van a analizar (ρ =densidad; λ =coeficiente de conductividad térmica):

- Poliestireno expandido (EPS): $\rho=10\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ $\lambda=0,046\text{-}0,029 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Poliestireno extruído (XPS): $\rho=25\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ $\lambda=0,046\text{-}0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
(Expandido con CO₂)
- Poliestireno extruído (XPS): $\rho=25\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ $\lambda=0,039\text{-}0,025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
(Expandido con HFC)³¹




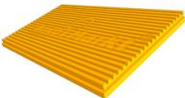

TIPO	ESTABLECIMIENTO	ESPESOR	PRECIO	IMAGEN
Poliestireno expandido autoex.	On-line: Tevisa ³²	10 mm	0,52 €/m ²	
		20 mm	1,02 €/m ²	
		30 mm	1,55 €/m ²	
Poliestireno expandido Porexpan T V	Tienda física/On-line: Leroy Merlin ³³	20 mm	0,82 €/m ²	
Poliestireno extruido Polyfoam 4LJ	Tienda física/On-line: Brico Markt ³⁴	40 mm	5,20 €/m ²	
Poliestireno extruido Polyfoam Canaboard	Tienda física/On-line: Brico Markt ³⁵	40 mm	5,40 €/m ²	
Poliestireno extruido Chovafoam T-IV L	Tienda física/On-line: Leroy Merlin ³⁶	40 mm	4,93 €/m ²	

Tabla 5.- Tabla comparativa de poliestireno

Normalmente se venden en láminas o planchas, lo que dificultará la labor de adaptación al contorno de la olla y además al no perder propiedades con la humedad son más caros que otros aislantes. Ambos inconvenientes hacen que se descarte para la instalación de este trabajo.

- Espumas

Las espumas de poliuretano tienen normalmente una conductividad térmica muy baja, del orden de 0,023 W/m·K. Además, tienen una característica muy destacable y es que se adaptan perfectamente al volumen deseado.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPUMA	ESTABLECIMIENTO	PRECIO
Poliuretano 750ml marca Ceys en spray	Tienda física/On-line: Lets Brico ³⁷	10,21€
Poliuretano 750ml marca Ratio en pistola	Tienda física/On-line: Lets Brico ³⁸	8,97€
Poliuretano 750ml marca Ratio en aerosol	Tienda física/On-line: Lets Brico ³⁹	8,30€
Poliuretano 750ml Multiusos	Tienda física/On-line: Leroy Merlin ⁴⁰	3,50€
Poliuretano 750ml marca Axton	Tienda física/On-line: Leroy Merlin ⁴¹	4,95€
Poliuretano 750ml marca Orbafoam en aerosol	Tienda física/On-line: Bricomart ⁴²	3,57€
Poliuretano 750ml marca Orbafoam en pistola	Tienda física/On-line: Bricomart ⁴³	3,81€

Tabla 6.- Comparativa de espumas de poliuretano

Como se puede observar, hay marcas que se pueden adquirir en grandes superficies de bricolaje con un precio muy atractivo. Este factor, sumado a su fácil adaptación a la forma de la olla y su bajo coeficiente de conductividad, hace que sea uno de los aislantes seleccionados para el estudio.

Por el contrario estos materiales soportan las temperaturas involucradas en la cocción con agua, pero no superiores.

- **Corcho**

Respecto al corcho como aislante, cabe mencionar que se vende de maneras muy distintas: losetas, planchas y rollos son sus formas más habituales. Además, tienen coeficientes de conductividad muy distintos, por lo que han de ser especificados en cada caso.

TIPO	ESTABLECIMIENTO	COEF. COND. (W/m·K)	ESPESOR	PRECIO
Caja 15 placas (7,5m ² total)	Tienda física/On-line: Cork Shop ⁴⁴	0,037 / 0,040	20 mm	55,76€ (7,43€/m ²)
Caja 10 placas (5m ² total)			30 mm	55,76€ (11,1€/m ²)
Caja 8 placas (4m ² total)			40 mm	55,76€ (14€/m ²)
Paquete 6m ²	Tienda física/On-line: La Isla Sostenible ⁴⁵	0,043/0,048	25 mm	58,20€ (9,7€/m ²)
Paquete 2,5m ²			30 mm	32,81€ (13€/m ²)
Caja 12 placas (6m ² total)	Tienda física/On-line: Bricork ⁴⁶	0,040	25 mm	75,60€ (12,6€/m ²)
Caja 8 placas (4m ² total)			40 mm	75,60€ (18,9€/m ²)

Tabla 7.- Comparativa de corchos aislantes

Este material no será una de nuestras opciones preferentes, ya que es demasiado rígido, difícilmente adaptable a la forma de la olla, aunque se pueden encargar formas diversas con corcho a partir de partículas comprimidas (composite). Además, se puede observar que tiene un precio desorbitado para el uso que se le quiere dar, debido principalmente a que es un gran aislante térmico y acústico usado para viviendas.

- **Heno**

Se puede adquirir en cualquier tipo de tienda de mascotas, como MascotaPlanet, Kiwoko, incluso en establecimientos como Verdecora. El precio depende mucho del establecimiento, pero sería justo pagar entre 3 y 5 €/kg, con una conductividad de 0,04 W/m·K (Incropera & DeWitt, 1999).

- **Lana de roca**

Aislante fabricado a partir de roca volcánica, usado además de aislante térmico como protección contra el fuego en viviendas debido a que alberga aire en su interior relativamente inmóvil gracias a su estructura fibrosa.




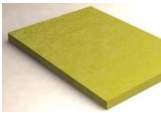
TIPO	ESTABLECIMIENTO	COEF. COND. (W/m·K)	ESPESOR	PRECIO	IMAGEN
Lana de roca Acustilaine70	Tienda física/On-line : Leroy Merlin ⁴⁷	0,0348	40 mm	6,88 €/m ²	
Lana de roca Alpharock E-225	Tienda física/On-line : Bricomarkt ⁴⁸	0,034	30 mm	5,80 €/m ²	
Lana de roca armada Knauf	Tienda física/On-line : La Casa de la Construcción ⁴⁹	0,042	40 mm	14,10 €/m ²	
Lana de roca ChocA LAROC N 150/4	Tienda física/On-line : ChovA ⁵⁰	0,038	40 mm	13,8 €/m ²	

Tabla 8.- Comparativa de lanas de roca

Como se comprueba con la Tabla 8 la lana de roca es muy buen aislante, con un coeficiente de conductividad muy bajo. Aunque no es muy barata, su precio está dentro de los valores razonables. Además de los dos motivos anteriores, la gran diversidad de espesores disponibles en el mercado hace que se vaya a analizar también este aislante en el presente trabajo.

Comparte con la lana de vidrio dos inconvenientes: desprender fibras dañinas para la salud y se mojan, con lo que pierden poder aislante.

- Lana de vidrio

Es un aislante formado por diminutos filamentos de vidrio unidos entre sí con aglutinante, dejando entre ellos un espacio que ocupa el aire actuando de resistencia térmica.

TIPO	ESTABLECIMIENTO	COEF. COND. (W/m·K)	ESPESOR	PRECIO
Rollo de Lana de vidrio Isover ECO 035	Tienda On-line : Isover ⁵¹	0,041	40mm	3,60 €/m ²
Rollo de Lana de vidrio Isover ECO 037 PR	Tienda On-line : Isover ⁵²	0,041	50 mm	3,70 €/m ²
Rollo de Lana de vidrio Isover ECO 037 PR	Tienda On-line : Isover ⁵³	0,041	60 mm	4,35 €/m ²
Rollo de Lana de vidrio Isover ECO 037 PR	Tienda On-line : Isover ⁵⁴	0,041	80 mm	5,45 €/m ²
Manta fieltro M0021 URSA	Tienda física/On-line: Rufino Narro ⁵⁵	0,041	80 mm	12€ (3,14 €/m ²)

Tabla 9.- Comparativa de lanas de vidrio

Es difícil encontrar espesores adecuados de lana de vidrio, pues suelen ser más gruesos de 40 mm, de modo que queda descartada para el estudio.

Cabe destacar que este trabajo es un estudio de viabilidad de la instalación, de modo que no se busca estrictamente cuál es el mejor aislante. El objetivo es escoger dos y determinar de qué modo y con qué eficacia actúa cada uno.

Con todo lo recopilado en este apartado, parece que lo más razonable es usar espuma de poliuretano o bien lana de roca por varios motivos.

En primer lugar, sus coeficientes de conductividad son bastante reducidos, lo que significa que son buenos aislantes. En segundo lugar, tienen un precio razonable y por último hay que destacar su abundancia en el mercado, ya que se pueden adquirir en cualquier gran superficie de bricolaje e incluso por internet.

Además, con estos aislantes no habrá problemas al intentar adaptarlos a la superficie exterior de la olla. Sin embargo, hay aislantes más rígidos, como el corcho, otros que se venden en planchas, como el poliestireno, o aislantes muy menudos difícilmente adaptables, como el heno.

6. ASPECTOS SIGNIFICATIVOS DEL ESTUDIO

Tras la búsqueda de los elementos de la instalación se concluye que ésta constará de un panel solar fotovoltaico con su correspondiente soporte y una resistencia que aportará calor al alimento, pero se estudiarán tres configuraciones distintas respecto al elemento usado para cocinar:

- Configuración A: olla rodeada de la resistencia térmica y ambas a su vez recubiertas por aislante de lana de roca de tres espesores distintos: 1 cm, 3 cm y 5 cm.
- Configuración B: ídem, pero aislante de espuma de poliuretano de tres espesores distintos: 1 cm, 3 cm y 5 cm.
- Configuración C: dispositivo tipo termo-vaso Dewar, más ancho que un termo convencional pero con propiedades aislantes semejantes a las de los vasos Dewar.

Un aspecto a destacar del estudio es que no se tiene en cuenta la cantidad de agua que se pierde por evaporación, por lo que se asume que se le añade agua fría progresivamente para mantener una temperatura muy próxima a la de ebullición pero sin que esa llegue a ocurrir, tal y como se hace en la cocina tradicional. Esto se debe a que evaluar la evaporación y la ebullición que se produce en el recipiente no es sencillo y no es un tema de gran importancia en el estudio, ya que con la suposición que se ha hecho los resultados serán prácticamente iguales.

Por último, antes de la realización del estudio es necesario tener en cuenta distintos aspectos que tienen una gran influencia en los resultados del mismo. Por ello deberán ser correctamente estudiados y elegidos para establecer el modelo de cálculo adecuado. Se hará hincapié en las pérdidas del sistema, la influencia de los agentes meteorológicos y por último las características de los materiales usados.

6.1. PÉRDIDAS CONSIDERADAS

Como en todo proceso en el que se intercambia calor, se han de considerar en este caso una serie de pérdidas térmicas cuyo origen se explica a continuación. Además, tendremos que tener en cuenta otro tipo de pérdidas, como las de potencia, también presentes en el estudio.

6.1.1. Pérdidas térmicas

Como es lógico, en el presente trabajo se han considerado todas las pérdidas por procesos convectivos, de conducción y radiación, pero éstas dependerán de si se trata de la olla recubierta de aislante o el termo-vaso Dewar. Aún así, las resistencias térmicas exteriores en ambos casos sí serán del mismo tipo, lo que variarán serán las resistencias térmicas interiores.

Respecto a los intercambios de calor en el exterior del sistema, hay que saber que el ambiente intercambia calor con la superficie del aislante tanto por radiación como por convección libre y forzada. Es importante destacar que se han tenido en cuenta ambas formas de convección: la convección natural o libre, debida a la diferencia de temperaturas del aire y la convección forzada, gracias al movimiento del aire alrededor del sistema.

Respecto al intercambio de calor desde el aislante hacia dentro no se tiene en cuenta la resistencia de conducción que ofrecen las paredes de la olla, debido a que tienen un espesor del orden de 1mm y su conductividad es muy alta, por lo que la temperatura tanto en su superficie interior como exterior será exactamente la misma.

La olla recubierta de aislante tendrá por tanto el siguiente circuito térmico:

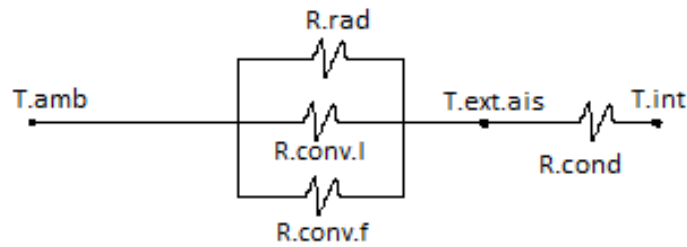


Figura 28.- Circuito térmico de la olla recubierta de aislante

Sin embargo, un termo es muy distinto a una olla, pues tiene dos recipientes separados por un vacío prácticamente perfecto que están unidos por un aro o anillo de borosilicato normalmente, material del que suelen estar hechos los termos. Además, la tapa del termo también será objeto de pérdidas, por lo que hay que incluirla. Si bien las resistencias térmicas exteriores serán del mismo tipo que en el caso de la olla, como se ha dicho antes, el circuito interior cambia:

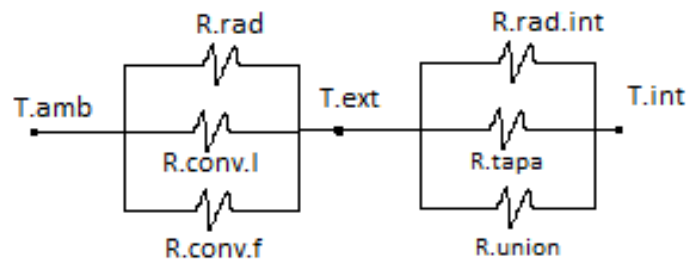


Figura 29.- Circuito térmico del termo-vaso Dewar

Hay que aclarar que el termo que se usa en este trabajo no es un termo usual, puesto que éstos suelen tener el cuello muy estrecho, ya que a través de la tapa y de la unión de ambos recipientes se producirán grandes pérdidas por conducción. Por tanto, es lógico pensar que cuanto más ancho sea ese cuello, más superficie tendrá tanto la tapa como el anillo y por tanto más grandes serán las pérdidas.

Además, el flujo de calor será mayor cuanto mayor sea el gradiente de temperaturas, por lo tanto cabe esperar que de los días estudiados, en el que se producirán las mayores pérdidas sea el 15 de enero, pero más adelante se comprobará en el análisis de los resultados.

6.1.2. Pérdidas por el aumento de la temperatura del panel

El panel solar adquiere temperatura a lo largo del día por efecto de la radiación solar. Una gran parte de los estudios realizados sobre este aspecto estiman que la pérdida de tensión a circuito abierto es en torno a 2,45 mV/(°C·cel) y aunque a priori parece poco, con un aumento de 30°C en la temperatura de un panel de 110 Wp y 72 células se puede llegar a disminuir la potencia máxima de unos 11 a 14 W, es decir, un descenso del 10-12% (CIEMAT).

Otros estudios, para simplificar esta tarea de cálculo, han estimado que las pérdidas de potencia máxima son del orden del 0,4-0,5% por cada °C que aumenta la temperatura del panel. De hecho, en los Data Sheet de paneles de calidad suele aparecer un valor que puede guiar en esta tarea. En este trabajo, ATERSA A-300P ULTRA:

Parámetros térmicos	
Coefficiente de Temperatura de I_{sc} (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de V_{oc} (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Figura 30.-Características de temperatura panel fotovoltaico ATERSA A-300M GSE

Como se puede ver, este panel disminuirá 0,43% su potencia máxima por cada °C que aumente su temperatura. En este trabajo, se ha tomado la decisión por tanto de considerar que la potencia máxima del panel disminuye un 0,4% por cada 1°C que aumente la temperatura en el panel, por simplicidad.

Por otro lado, para saber la disminución de potencia se ha de calcular la temperatura del panel fotovoltaico. Para ello, se ha utilizado la expresión ofrecida en el Proyecto de Fin de Carrera (Fernández Ferichola), alumno de la Universidad Carlos III de Madrid:

$$k \cdot (T_{cell} - T_{amb}) = \alpha \cdot G_{inc} \cdot (1 - \eta_{Areatotal}) \quad (3)$$

Donde α es el coeficiente de absorción de irradiación solar, $\eta_{\text{Áreatotal}}$ no es la eficiencia del panel, sino el coeficiente de rendimiento del módulo respecto de su área, esto es, cuánto área del disponible se está aprovechando. Los valores estándar para ambos coeficientes son $\alpha = 0,9$ y $\eta_{\text{Áreatotal}} = 10\%$. T_{cell} es la temperatura del panel fotovoltaico, T_{amb} la temperatura ambiente y G_{inc} es la radiación incidente en el módulo fotovoltaico.

El factor k puede ser dividido en una componente constante k_c y un factor proporcional a la velocidad del viento k_v :

$$k = k_c + k_v \cdot v \quad \left(k \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right] \right); \quad v = \text{velocidad del viento (m/s)} \quad (4)$$

A no ser que se quiera hacer un análisis exhaustivo de estos parámetros, lo cual no es el objeto de este proyecto, se pueden tomar unos valores estandarizados:

$$k_c = 20 \frac{W}{m^2} \cdot K; \quad k_v = 6 \frac{W}{m^2} \cdot K \cdot (m/s)^{-1} \quad (\text{Fernández Ferichola})$$

Estos valores se han extraído de muchas medidas realizadas en instalaciones con módulos montados al aire libre con libre circulación de aire alrededor. Además se ha considerado una velocidad del aire de 3,6m/s, por lo que el valor de $k = 41,6 \frac{W}{m^2} \cdot K$.

De este modo, teniendo la temperatura de la célula en cada instante ya se podrán calcular las pérdidas de potencia máxima del panel debidas a este parámetro.

6.1.3. Pérdidas por suciedad en el panel

Todo módulo fotovoltaico sometido a agentes como polvo y suciedad, que se depositan continuamente sobre su superficie, va a sufrir una disminución en la generación de potencia. Llegados a este punto, buscando la información necesaria para que se introdujesen estas pérdidas en el sistema, se observó que había una gran variedad de estudios en los que se explicaba el efecto de distintos agentes.

Tomando un ejemplo de los estudiados, (Smart Green (Powering Nature)) publicó un artículo en el que se trataba la influencia de la suciedad en un panel fotovoltaico. En este artículo se hace un extenso análisis del efecto tan distinto que tiene que la suciedad sea formada por piedra caliza, cemento, carbón, etc. Se comprueba por ejemplo que el carbón produce un mayor efecto negativo sobre el rendimiento que el cemento y éste a su vez tiene mayores efectos que la caliza, que sería la menos perjudicial de las tres sustancias.

Además, existen diferencias entre suciedad de un mismo tipo pero con distinto tamaño, pues cuanto menor es el tamaño de la partícula mayor será su efecto sobre el rendimiento del panel, debido a que estas partículas más finas se distribuyen de manera más uniforme, dejando menos vacío entre ellas por donde la luz pueda pasar.

Otra distinción más que hay que hacer es el grado de concentración de la suciedad, pues lógicamente no es lo mismo tener un 20% de la superficie del panel cubierta que un 80% de la misma. El grado de concentración de suciedad se mide en g/cm^2 . Además, la caída de tensión no es lineal, por tanto no se guarda una proporción exacta entre la caída con un 20% de la superficie cubierta o un 80%. Estos aspectos complican aún más los cálculos y la estimación del efecto de la suciedad.

Por último, el efecto de los agentes meteorológicos es muy importante porque tanto viento como lluvia realizan operaciones de limpieza de polvo y suciedad. Así pues, cuanta más lluvia y/o viento haya, menores serán las pérdidas por acumulación de materia en el panel.

Por todo lo anteriormente comentado, es realmente difícil la labor de estimar con exactitud las pérdidas por suciedad en un panel fotovoltaico. Por ello, se ha recurrido a un estudio experimental realizado por la Universidad de Málaga, cuyas condiciones climatológicas son las más semejantes a las de Leganés de los estudios que se han encontrado (Zorrilla-Casanova J. , y otros, 2012).

El estudio se realizó entre las fechas 15 diciembre de 2008 y 14 diciembre de 2009, en el campus de la Universidad de Málaga (latitud 36,7° N, longitud 4,5° W, altura 50 m),

situado entre una zona residencial y un área industrial, rodeando al edificio varias carreteras con un flujo de tráfico notorio.

Así pues, los resultados obtenidos sobre el panel fotovoltaico fueron:

Month/year	\bar{H}_D (kWh m ⁻²)	\bar{H}_L (%)	Rain (mm)	Days
December 2008	3.9	0.8	15.0	15
January 2009	3.8	0.5	54.9	31
February 2009	4.8	1.4	217.0	28
March 2009	5.3	1.1	141.5	28
April 2009	6.6	0.6	50.7	30
May 2009	7.1	0.8	5.2	29
June 2009	6.8	3.2	0.0	28
July 2009	7.4	9.6	0.0	31
August 2009	7.4	17.3	0.0	31
September 2009	5.7	10.8	15.7	26
October 2009	5.8	1.5	5.4	31
November 2009	4.5	2.2	33.5	30
December 2009	4.2	0.4	23.2	14
Average	5.8	4.3	46.8	

Figura 31.-Estudio de la influencia de la deposición de suciedad sobre un panel fotovoltaico, Universidad de Málaga

Tal y como se explica en el artículo anteriormente citado, el mes de julio estudiado fue muy poco lluvioso y con pequeñas rachas de viento, lo que potenció que la limpieza de manera natural del panel fuese mínima. Por el contrario, con las lluvias propias del mes de enero se propició una limpieza del panel que disminuyó las pérdidas de potencia. Para los días de estudio de este trabajo, en enero y julio, se consideran las pérdidas del 0,5% y 9,6%, respectivamente.

6.1.4. Pérdidas por edad de la instalación

Para introducir en el presente trabajo las pérdidas por la edad de la instalación se ha acudido a varios estudios para ver la influencia de este aspecto en el rendimiento de esta instalación, aunque solo se explicará uno de ellos.

Este parámetro es muy importante debido a que marcará de manera transcendental la viabilidad del sistema de cocina solar desarrollado en este trabajo. Se usan los resultados de un estudio realizado en la Universidad de Málaga, debido a la

fiabilidad que proporciona saber que el estudio allí realizado se hizo a través de la inspección visual, la termografía infrarroja y la evaluación de los parámetros característicos.

En dicho estudio se estima que las pérdidas en 12 años de funcionamiento de un panel fotovoltaico son del 11,6% (Sidrach-de-Cardona M. , Sánchez-Friera, Piliouge, Peláez, Carretero, & Mora-López, 2010). Por ello, en el presente trabajo se analiza la instalación suponiendo que lleva 12 años en funcionamiento de modo que se puedan incluir las nombradas pérdidas de potencia máxima.

En el estudio de la Universidad de Málaga se incluye además el efecto de la edad sobre otros parámetros de importancia que es bueno conocer y realizaron una tabla en la que se compara el valor de dichos parámetros inicialmente y tras el paso de 12 años:

	Medidas iniciales		Medidas finales		Variación
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	(%)
I_{sc} (A)	3,12	0,04	2,83	0,04	-9,2
V_{oc} (V)	21,5	0,2	21,1	0,2	-1,8
I_m (A)	2,77	0,04	2,49	0,04	-10,1
V_m (V)	17,3	0,2	17,0	0,2	-1,7
P_m (W)	48,0	1,0	42,5	0,8	-11,6
FF (%)	71,5	0,8	71,0	1,5	-0,7
R_s (Ω)	0,35	0,10	0,34	0,12	-4
R_{sh} (Ω)	130	47	137	40	5

Tabla 10.- Parámetros característicos del panel PV en condiciones estándar antes y después de 12 años de uso.
Fuente: (Universidad de Málaga: autores varios, 2010)

6.2. INFLUENCIA DE LOS AGENTES METEOROLÓGICOS

Los agentes meteorológicos participan de manera activa en la transferencia de calor del sistema.

6.2.1. Temperatura ambiente

Para el análisis teórico de la instalación se necesitan las temperaturas históricas de los días de los meses analizados, 15 de enero y 15 de julio, pues son las temperaturas aproximadas que cabe esperar que haga los años siguientes. Los datos han sido obtenidos a través de una base de datos encontrada en Internet, denominada Weather Base⁵⁶, que ofrece las temperaturas históricas en Madrid, calculando la media desde el año 2009 al 2015, con lo que parece muy fiable.

Se supone que la temperatura del hogar donde se use este sistema será la misma que la temperatura del ambiente exterior, puesto que los hogares de los países en vías de desarrollo destacan por un mal asilamiento que provoca que las temperaturas sean muy parecidas a las del exterior.

6.2.2. Viento

Respecto al viento, accediendo del mismo modo a una base de datos en Internet (en este caso WindFinder⁵⁷) se ha podido calcular que la velocidad el viento en Madrid a lo largo del año es unos 3,4 m/s (equivalentes a 6,6kts).

Mes del año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Velocidad media del viento (kts)	7	7	8	7	7	6	7	6	6	6	6	6	6

Figura 32.- Velocidad del viento media por meses en la estación meteorológica de Madrid-Barajas Aeropuerto.

Pese a que la velocidad media a lo largo del año es unos 3,4 m/s, en este trabajo se usará la velocidad de 3,6 m/s (7kts) porque es la correspondiente a los meses de enero y julio. Esta velocidad es la usada para el cálculo de las pérdidas de potencia en el panel y para conocer la fuerza que ha de resistir el soporte del panel fotovoltaico.

Sin embargo, para los cálculos de las correlaciones de transferencia de calor en lo que a la olla o termo se refiere, se usa una velocidad del viento que debe ser la del interior del hogar. Se ha supuesto una velocidad de 0,6 m/s para dichos cálculos.

6.2.3. Radiación solar

La obtención de la radiación diaria sobre el panel fotovoltaico ha sido más compleja que la recolección de datos referentes a temperatura y viento. En estos casos, como se ha explicado en los anteriores apartados, se acudió a webs de Internet donde venían expresados de manera muy clara y concisa y se puede generalizar diciendo que Leganés tendrá los mismos efectos respecto a estos agentes que la ciudad de Madrid.

Sin embargo, la radiación solar depende del lugar exacto en el que se encuentre el panel fotovoltaico. Por ello, se ha necesitado de la ayuda de un modelo de cálculo, claro y conciso que se encuentra en los apuntes de la asignatura Fuentes de Energía de la Universidad Carlos III de Madrid (Lecuona-Neumann, 2013).

Con la ayuda del programa MathCad se ha establecido el mismo modelo que el de los apuntes, de modo que introduciendo distintos datos, como la posición del lugar, la inclinación del panel, su orientación, el día del año, etc. el programa devuelve la radiación solar por m^2 a lo largo del día, actualizando los datos cada 10 min. Con esta radiación se hallará la potencia que da el panel en cada instante.

6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES USADOS

Faltan por indicar de manera concisa las características de los elementos usados en la instalación tales como los aislantes, la resistencia, la olla, etc.

En primer lugar, la **olla** es el modelo *olla rápida Jata de 3L*⁵⁸. Sus características más importantes son:

- Presión máxima 90 kPa.
- Diámetro: 22 cm.
- Espesor: 0,12 cm.
- Masa: 1,25 kg.
- Material: acero inoxidable SUS304⁵⁹ con:
 - Coeficiente de conductividad: 16 W/m·K
 - Densidad: 7930 kg/m³
 - Calor específico: 0,5 kJ/kg·K.
 - Emisividad: 0,4.

Se ha considerado que se cocinará una mezcla compuesta por 2 litros de **agua** y 800 gramos de **alimento**. Se han escogido varios alimentos al azar y se ha llegado a la conclusión de que se puede suponer un calor específico estándar del alimento de 3 kJ/kg·K, el cual añadiéndolo a los 4,19 kJ/kg·K del agua se obtiene una masa total de 2,8 kg y un calor específico de 3,85 kJ/kg·K para dicha masa.

La **lana de roca** en seco puede llegar a tener un coeficiente de conductividad de 0,034 W/m·K en condiciones óptimas, lo que incluye obviar la humedad. Los aislantes en presencia de agua conducen mejor el calor, de modo que aumentan su coeficiente de conductividad, suponiendo un valor de 0,040 W/m·K para el caso que incumbe a este trabajo. Su densidad es de 70 kg/m³ y un calor específico de 0,8 kJ/kg·K⁶⁰. La masa del aislante dependerá por tanto del espesor usado.

Las **espumas de poliuretano** son mejores aislantes que la lana de roca y suelen tener un coeficiente de conductividad de 0,023 W/m·K si son de buena calidad, pero como hemos dicho antes con la lana de roca, esto es en condiciones óptimas, por lo que se estima que con efecto de la humedad tendrá un coeficiente de conductividad de 0,028 W/m·K. Su densidad es 40 kg/m³ y su calor específico 1,674 kJ/kg·K⁶¹

La **resistencia térmica** idónea para esta instalación se calcula con los datos de potencia máxima del panel elegido, ATERSA 300-P ULTRA. De la Figura 24(b) se sabe:

$$V_{mp} = 36,52 \text{ V}$$

$$I_{mp} = 8,21 \text{ A}$$

De modo que se puede hallar el valor de la resistencia térmica como: $R = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} = 4,45 \Omega$

El **termo** usado, al igual que todos los termos, tiene la base de su funcionamiento en un vaso Dewar, por tanto consta de dos recipientes separados por un vacío casi perfecto. Lo que le diferencia de los termos convencionales es que como va a ser usado para alimentos, ha de tener el cuello más grande para poder manipularlos sin problema. Esto conlleva un aumento en las pérdidas de calor por conducción en la tapa y en el anillo de unión de ambos recipientes.

7. RESULTADOS DEL MODELO DE CÁLCULO

Como se ha explicado anteriormente, este trabajo se ha centrado en el análisis de tres tipos de instalaciones en dos días concretos, 15 de enero y 15 de julio.

Es necesario aclarar varios conceptos que van a salir en los resultados y no son muy comunes:

- Tiempo en el que se alcanza la sobretemperatura (temperatura por encima del ambiente) de 50°C: factor que se usa para saber la velocidad de calentamiento.
- Potencia característica de sobretemperatura: potencia de cocción estandarizada a 700 W/m², por lo que se multiplicará por este valor y se dividirá entre la insolación en ese momento.
- Tiempo característico de enfriamiento: parámetro usado para medir la velocidad de enfriamiento. Cuanto más grande sea más tardará el alimento en enfriarse.

Además se observará que los alimentos, según el tipo de cocina, llegan a estar 8 ó 9 horas en ebullición. Hay que aclarar por tanto que no es una aplicación real de la cocina, pues un alimento tanto tiempo a temperatura de ebullición del agua terminaría deshaciéndose. Lo que se pretende es comprobar el potencial del sistema y ver si sería posible cocinar con él.

Antes de representar los resultados, se va a explicar el modelo de cálculo seguido.

7.1. MODELO DE CÁLCULO USADO

En este trabajo existen dos grandes apartados en lo que a cálculos se refiere: cálculo de la irradiancia solar y cálculo de la temperatura del alimento. Se comienza por tanto explicando el proceso seguido para hallar la irradiancia del sol, basado el modelo en (Lecuona-Neumann, 2013) y (Lecuona-Neumann, Abril de 2010).

En primer lugar hay una gran cantidad de datos necesarios que hay que introducir con anterioridad para el correcto cálculo de la irradiancia:

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO	VALOR (si procede)
n	Número de día	15 enero(15) – 15 julio(196)
η_{panel}	Eficiencia del panel PV	0,15
A_{panel}	Área panel	2 m ²
α	Acimut	0° (orientado al Sur)
β	Inclinación del panel PV	Ver Capítulo 5.2.
ϕ	Latitud	40,3°
θ	Longitud	-3,77°
θ_{ref}	Longitud referencia	0° (meridiano Greenwich)
z	Altitud	0,665km

Tabla 11.- Datos necesarios para el cálculo de la irradiancia

A partir de estos datos, se comienza a calcular. Lo primero de todo es pasar de la hora oficial, que es la de un reloj y por la que se rige la sociedad, a hora solar verdadera para poder calcular la posición del Sol en cada momento. Sabiendo es que España se adelanta 1 hora de reloj en invierno ($A=1$) y 2 horas en verano ($A=2$):

$$tsv = \text{hora solar} = \text{hora oficial} + 240s \times {}^{\circ-1} \times (\theta - \theta_{\text{ref}}) + E - A \quad (5)$$

E es la ecuación de tiempo, que tiene en cuenta el movimiento no uniforme de la Tierra:

$$E = 13,752s[0,075 + 1,868 \cos(B) - 32,077 \sin(B) - 14,615 \cos(2B) - 40,89 \sin(2B)] \quad (6)$$

$$\text{siendo: } B = (n - 1) \frac{360^{\circ}}{365} \quad (7)$$

Se necesita conocer los ángulos solares para poder hallar la irradiancia:

- Declinación: $\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(360^\circ \frac{284+d}{365}\right)$ (8)

- Ángulo horario: $\omega = 360^\circ \frac{tsv-12h}{24h}$ (9)

- Ángulo cenital: $\cos \theta_{zs} = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$ (10)

o lo que es lo mismo: $\theta_{zs} = \theta_s|_{\beta=0} = \arccos(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega)$ (11)

- Ángulo de incidencia de los rayos solares:

$$\cos \theta_s = \sin \delta (\sin \phi \cos \alpha - \cos \phi \sin \beta \cos \alpha) + \cos \delta [\cos \phi \cos \beta \cos \omega + \sin \beta (\sin \phi \cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega)] \begin{cases} > 0 \\ \text{Si } < 0 \text{ incide por detrás} \Rightarrow G_b = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Ahora hay que hallar la irradiancia extraterrestre del Sol sobre una superficie normal a la dirección de propagación. Esa irradiancia varía ligeramente por la elipticidad de la trayectoria de la Tierra:

$$G_{o,n} = 1.367 \frac{W}{m^2} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360^\circ \times n}{365}\right) \right] \quad (13)$$

Como éste es un estudio teórico no se dispone de mediciones de G_b y G_d de modo que se acude a una estimación, la correlación de Hottel usada para días despejados, con visibilidad de 23 km, para alturas menores de 2,5 km y basada en transmitancias atmosféricas:

TIPO DE CLIMA	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Verano lat.media	0,97	0,99	1,02
Verano subártico	0,99	0,99	1,01
Invierno lat. Media	1,03	1,01	1,00

$$a_0 = r_0 \left[0,4237 - 0,008216 \left(6,0 - \frac{z}{km^2} \right) \right] \quad (14)$$

$$a_1 = r_1 \left[0,5055 + 0,00595 \left(6,5 - \frac{z}{km^2} \right) \right] \quad (15)$$

$$k = r_k \left[0,271 + 0,01858 \left(2,5 - \frac{z}{km^2} \right) \right] \quad (16)$$

Tabla 12.- Valores dependiendo del clima

De este modo se pueden hallar las radiaciones directa y difusa:

$$G_b = G_{o,n} \cos \theta_{zs} \tau_b \quad (17)$$

$$G_d = G_{o,n} \cos \theta_{zs} \tau_d \quad (18)$$

conociendo: $\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_{zs}}\right)$ (19)

$$\tau_d = 0,271 - 0,294 \tau_b \quad (20)$$

Por último como el captador no está en posición horizontal, sino que tiene una cierta inclinación hay que transformar la irradiancia sobre el plano horizontal a la irradiancia normal a un plano inclinado según el método establecido en (Duffie & Beckman, 1991). Ahora hay que incluir cuanto “ve” el panel con factores de forma y un modelo de cielo. El más sencillo y usado para este trabajo considera radiación difusa isotrópica y suelo horizontal. Esto es, una reflectividad del suelo de 0,2 (ρ_g) y además hay que saber que la relación entre directa sobre plano inclinado y sobre el plano horizontal es $R_b = G_{b,T}/G_b = \cos\theta_s/\cos\theta_{zs}$. Por tanto:

$$G_T = G_b R_b + G_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (21)$$

G_T ya es la incidencia de los rayos solares sobre el panel fotovoltaico que se va transformar en energía eléctrica. La potencia que desarrollaría el panel si no tuviese ningún tipo de pérdidas sería:

$$dQ = G_T A_{panel} \eta_{panel} \quad (22)$$

Cabe decir que no se ha tenido en cuenta el coeficiente de cobertura en los cálculos, el cual se refiere a la proporción de superficie del panel efectiva que interviene en el efecto fotovoltaico. Se ha obviado dicho coeficiente porque como los paneles se mejoran cada vez más, cabe esperar que sea un valor muy cercano a la unidad, en torno al 85-95% del área del panel. Además aunque el área del panel elegido es 1,95 m² para los cálculos se ha usado 2 m² por simplicidad.

Como ya se explicó anteriormente, la revisión de los parámetros se realiza cada 10 minutos. Por ello se obtiene al final un vector dQ con 144 valores a lo largo de 24 horas completas (6 rangos de 10 min cada hora x 24h/día). Aplicando las pérdidas de potencia en el panel explicadas en el capítulo 6.1., se puede hallar la temperatura del alimento en cada instante mediante una ecuación diferencial que resulta de la diferencia de calor entre lo aportado por el panel PV y lo perdido hacia el ambiente a través del aislamiento:

$$C \frac{dT}{dt} = \dot{Q} - \dot{Q}_p; \begin{cases} \dot{Q} = G_T A_{panel} \eta_{panel} (1 - S)(1 - TP)(1 - E) \\ \dot{Q}_p = UA_e (T_i - T_{atm}) \end{cases} \quad (23)$$

- \dot{Q} : calor aportado por el panel al sistema.
- \dot{Q}_p : calor perdido a través de la conducción del aislante térmico.
- S : factor de pérdidas de potencia en el panel por efecto de la suciedad en el mismo.
- TP : porcentaje de pérdidas de potencia en el panel debido al aumento de temperatura en el mismo.
- E : pérdida de potencia debido a la edad del panel, expresado en tanto por ciento.

En cuanto a las pérdidas hay que destacar dos cosas importantes. En primer lugar decir que se ha considerado una convección mixta siendo el coeficiente de película $h = \sqrt[3]{h_l^3 + h_f^3}$, con una velocidad del viento de 0,6 m/s para el interior de la vivienda. En segundo lugar, se ha asumido que la forma del sistema de cocinado es esférica a la hora de aplicar las correlaciones para h_l y h_f . Esto se debe a la escasa diferencia en la pérdida de calor entre esferas y prismas de igual área exterior.

7.2. DÍA 15 DE ENERO DE 2015

Es necesario tener en cuenta que el mes de enero es muy frío en el centro de España y la lluvia y viento son agentes meteorológicos frecuentes en este mes. Amanece sobre las 08:35 h pero el alimento comienza a notar el calor a partir de las 08:40 h. La temperatura a esa hora es 2,6°C y la temperatura máxima a lo largo del día no supera los 9,7°C. A priori puede parecer que serán condiciones muy duras para cocinar pero como se verá en los análisis de cada configuración, no hay ningún problema en que el alimento llegue al punto de ebullición.

7.2.1. Configuración A (lana de roca)

Primero se analizarán los resultados de la Configuración A (olla con aislante de lana de roca), para cada uno de los tres espesores. Los subíndices de las temperaturas indican los cm de espesor que se han usado.

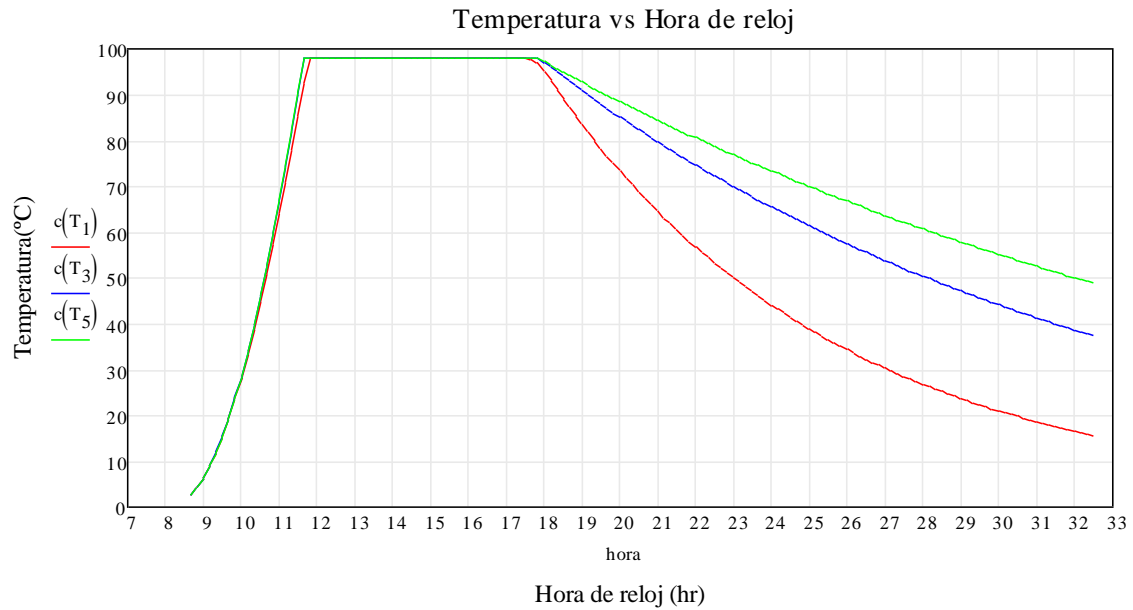


Figura 33.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/01/2015 lana de roca

-Nota: el eje de abscisas de estos gráficos abarca las horas desde el amanecer hasta pasada la media noche, con lo que las horas de 24 h en adelante se corresponden con las horas de madrugada del día siguiente.

	Aislante 1 cm	Aislante 3 cm	Aislante 5 cm
Hora a la que comienza a calentarse la comida	8:40 h	8:40 h	8:40 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:50 h	10:40 h	10:40 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:10 h	2 h	2 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	149,49 W	163,38 W	166,8 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:50 h	11:40 h	11:40 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:10 h	3 h	3 h
Tiempo que está en ebullición	5:40 h	6:10 h	6:10 h
Hora a la que empieza a enfriarse	17:30 h	17:50 h	17:50 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	20:20 h	22:50 h	01:00 h (16 enero)
Tiempo característico de enfriamiento	01:10 h (16 enero)	09:06 h (16 enero)	13:16 h (16 enero)

Tabla 13.- Tabla de resultados para lana de roca (15/01/2015)

Lo más destacable que se aprecia en el gráfico es que no hay casi diferencias en cuanto a los tiempos de calentamiento según el espesor del aislante, pero sí que hay grandes diferencias en cuanto al enfriamiento. Como puede observarse con el tiempo que tarda hasta la sobret temperatura de 50°C, el aislante de 1 cm hace que el alimento se caliente más lento que con los aislantes de 3 y 5 cm, aunque no hay casi diferencia, pues con estos aislantes se tarda en llegar a la ebullición 3 h, mientras que con el aislante de 1 cm se tarda solo 10 minutos más.

Con aislante de 1 cm el alimento comienza a enfriarse a las 17:30 h de la tarde y sobre las 20:20 h descendería hasta los 70°C, temperatura por debajo de la cual no es recomendable mantener mucho tiempo el alimento porque vuelven a aparecer microorganismos y bacterias, de modo que no podremos usar este sistema si se quiere que la comida aguante hasta la cena. Sin embargo, al usar aislantes de 3 y 5 cm el alimento comienza a enfriarse a las 17:50 h de la tarde, alcanzando la temperatura mínima recomendable (70°C) a las 22:50 h y a las 01:00 h (16 enero), respectivamente, por lo que se podría tener el alimento disponible hasta la cena.

Conclusiones:

- Con los tres espesores se calienta prácticamente al mismo ritmo pero se enfría más lento cuanto mayor es el espesor.
- Con los aislantes de 3 y 5 cm podemos tener disponible el alimento para la cena.

7.2.2. Configuración B (espuma de poliuretano)

Se analizarán ahora los resultados de la Configuración B (olla con aislante de espuma de poliuretano), para cada uno de los tres espesores. Los subíndices de las temperaturas indican los cm de espesor que se han usado.

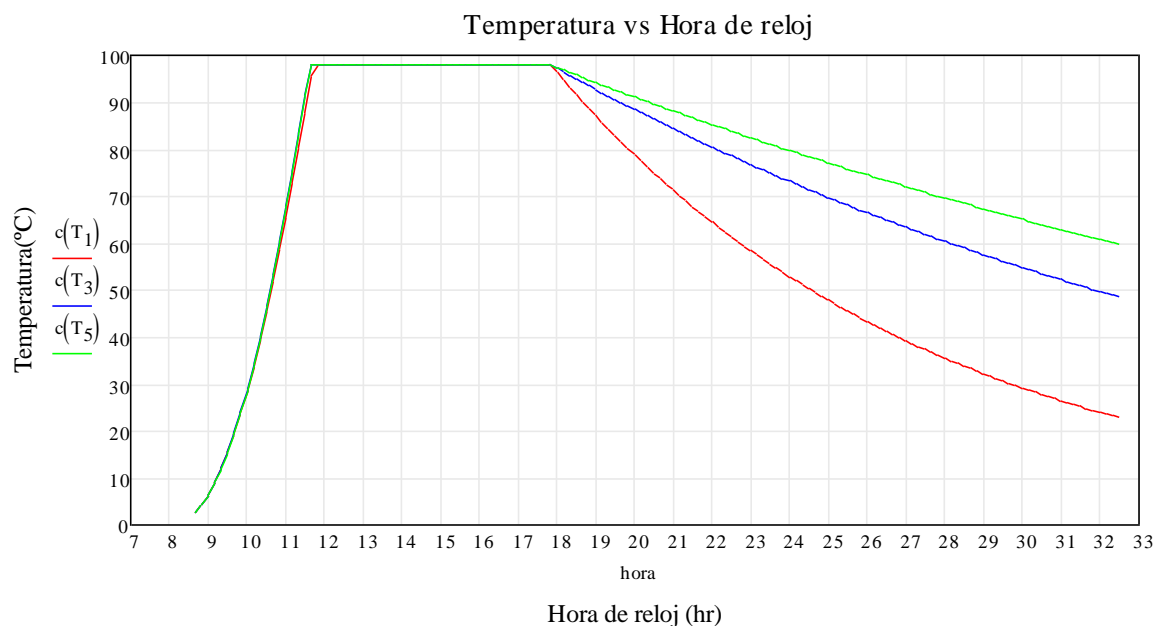


Figura 34.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/01/2015 espuma de poliuretano

	Aislante 1 cm	Aislante 3 cm	Aislante 5 cm
Hora a la que comienza a calentarse la comida	08:40 h	08:40 h	08:40 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:50 h	10:40 h	10:40 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:10 h	2 h	2 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	154,92 W	166,7 W	169,35 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:50 h	11:40 h	11:40 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:10 h	3 h	3 h
Tiempo que está en ebullición	5:50 h	6:10 h	6:10 h
Hora a la que empieza a enfriarse	17:40 h	17:50 h	17:50 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	21:00 h	00:50 h (16 enero)	03:50 h (16 enero)
Tiempo característico de enfriamiento	03:40 h (16 enero)	13:06 h (16 enero)	19:55 h (16 enero)

Tabla 14.- Tabla de resultados para espuma de poliuretano (15/01/2015)

De nuevo, como con la lana de roca, en el calentamiento no se aprecian diferencias sustanciales entre el espesor de 1 cm y los de 3 y 5 cm, de hecho se calienta a la misma velocidad con espuma de poliuretano que con lana de roca. Se puede apreciar que las potencias características de calentamiento son mayores para el poliuretano que para la

lana de roca, ya que como es mejor aislante, el sistema aporta más potencia al alimento que en el anterior caso.

Además, también se visualizan diferencias sustanciales durante el enfriamiento, pues tendremos el alimento por encima de los 70°C hasta las 21:00 h, 00:50 h (16 enero) y 03:50 h (16 enero), para 1, 3 y 5 cm respectivamente, lo que significa que con 3 y 5 cm se tiene la cena disponible e incluso si la familia tiene hábito de cenar pronto serviría con 1 cm de aislante. Por último, hay que añadir que el tiempo característico de enfriamiento para la espuma de poliuretano es ligeramente mayor que para la lana de roca, lo que demuestra lo dicho en este párrafo de que la velocidad de enfriamiento de la espuma de poliuretano es menor y por tanto es mejor aislante.

Conclusiones:

- La espuma de poliuretano es mejor aislante que la lana de roca.
- Cuanto más calor se aporte al alimento, mayor será la potencia característica de sobrettemperatura de 50°C.
- Con los aislantes de 3 y 5 cm se tiene disponible el alimento para la cena, e incluso se podría llegar a tener con 1 cm.

7.2.3. Configuración C (termo-vaso Dewar)

Tal y como se introdujo al final del apartado 5.3., el artilugio usado para el análisis de este caso es un recipiente basado en el principio de un vaso Dewar (termo) pero adaptado a las necesidades establecidas. Como es necesario manipular el alimento, hay que aumentar el diámetro del cuello del termo, lo que propiciará un aumento de las pérdidas por conducción en la tapa y el anillo de unión de los dos recipientes que conforman un vaso Dewar.

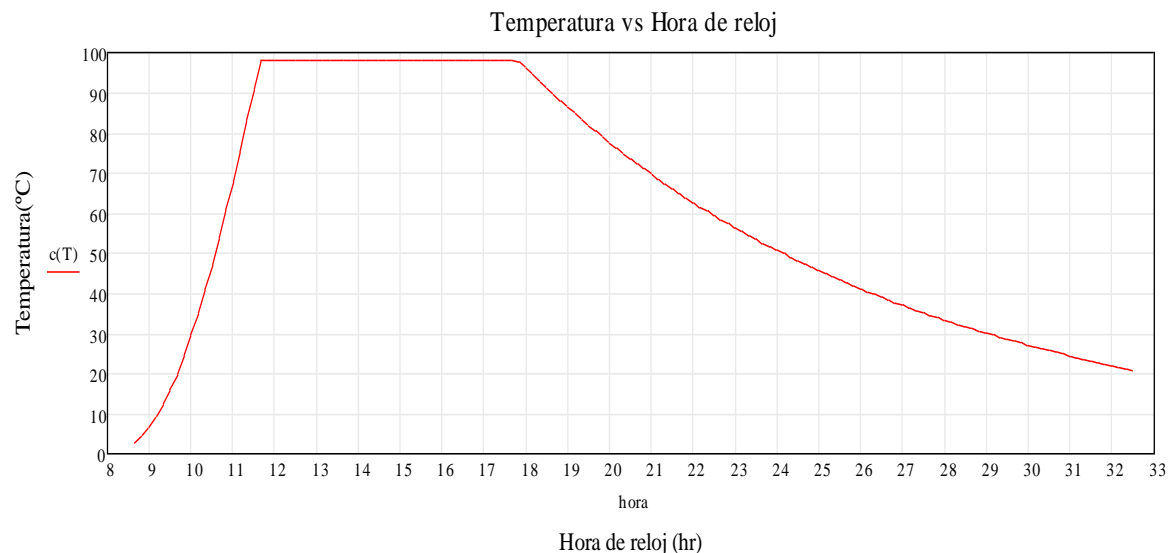


Figura 35.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/01/2015 recipiente tipo termo-vaso Dewar

	Olla-termo
Hora a la que comienza a calentarse la comida	8:40 h
Hora a la que alcanza sobret temperatura de 50°C	10:40 h
Tiempo que tarda hasta la sobret temperatura de 50°C	2 h
Potencia característica sobret temperatura de 50°C	156,25 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:40 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3h
Tiempo que está en ebullición	6h
Hora a la que empieza a enfriarse	17:40 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	20:50 h
Tiempo característico de enfriamiento	03:00 h (16 enero)

Tabla 15.- Tabla de resultados recipiente tipo termo-vaso Dewar (15/01/2015)

Tal y como se observa en el gráfico y en la tabla de resultados, con este tipo de recipiente se obtiene un poder de retención del calor prácticamente equivalente a usar una olla con aislante de 1 cm de espesor de lana de roca o espuma de poliuretano.

Por tanto, como el sistema de olla con aislante es mucho más barato que un vaso Dewar, sería descartable esta opción. Eso suponiendo que el aislante fuese de solo 1 cm, porque si se usan 3 o 5 cm, como en los casos estudiados, superan con creces los resultados obtenidos en este apartado.

Conclusión:

- No se debe usar este sistema para el tipo de cocina solar desarrollada en este trabajo, pues supondrá un gran desembolso económico y no reportará grandes beneficios.

7.3. DÍA 15 DE JULIO DE 2015

En Madrid, el día 15 de julio amanece sobre las 07:00 h de la mañana, pero con la baja inclinación que tiene el panel solar fotovoltaico ($22,3^\circ$) tardará un largo periodo de tiempo en dar la potencia necesaria suficiente para que se calienten los alimentos, en concreto será las 07:50 h. Por otro lado, hay que destacar que la temperatura máxima del día será de $33,9^\circ\text{C}$ y que se prevé que no haya lluvia.

A priori, es de suponer que para el 15 de julio la instalación debería responder mucho mejor que el 15 de enero, pues la temperatura ambiente propicia que el alimento se caliente mucho antes y de manera más rápida, pero se verá lo que ocurre a continuación.

7.3.1. Configuración A (lana de roca)

Primero se analizarán los resultados de la Configuración A (olla con aislante de lana de roca), para cada uno de los tres espesores. Los subíndices de las temperaturas indican los cm de espesor que se han usado.

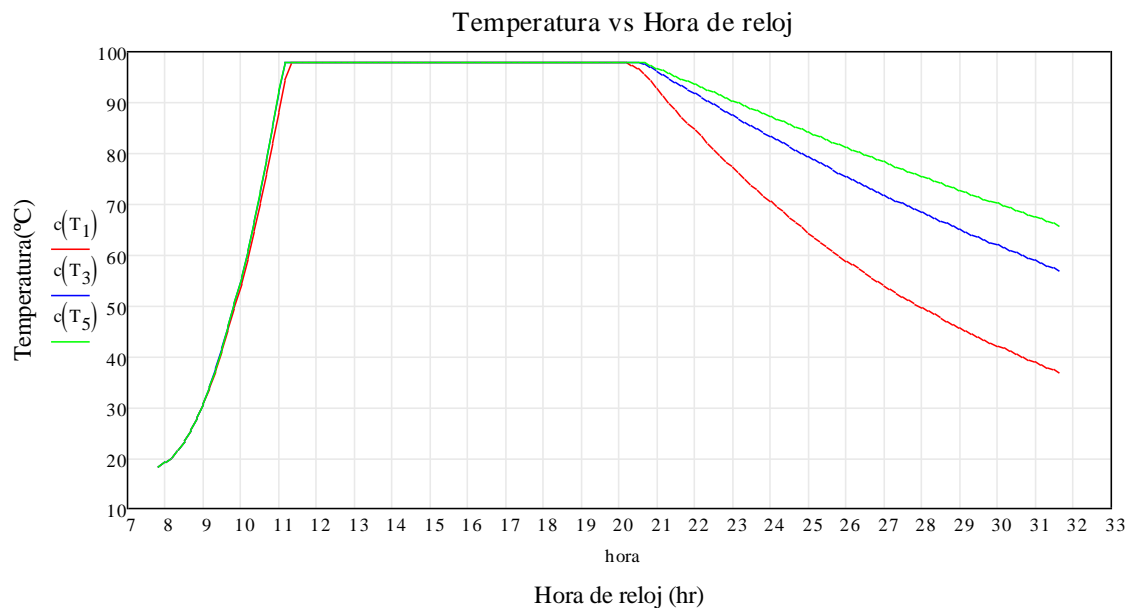


Figura 36.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/07/2015 lana de roca

	Aislante 1 cm	Aislante 3 cm	Aislante 5 cm
Hora a la que comienza a calentarse la comida	07:50 h	07:50 h	07:50 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h	10:30 h	10:30 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h	2:40 h	2:40 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	133,21 W	144,37 W	147,76 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:20 h	11:10 h	11:10 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:30 h	3:20 h	3:20 h
Tiempo que está en ebullición	8:40 h	9:20 h	9:20 h
Hora a la que empieza a enfriarse	20:00 h	20:30 h	20:30 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	00:00 h (16 julio)	03:30 h (16 julio)	06:00 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	05:40 h (16 julio)	14:40 h (16 julio)	00:41 h (17 julio)

Tabla 16.- Tabla de resultados para lana de roca (15/07/2015)

Si se comparan los resultados obtenidos para esta fecha con los dados en el apartado 7.1.1. (lana de roca - 15 de enero) se ve que el alimento se calienta más rápido en enero. Para el 15 de julio se obtiene que tarda 3:30 h, 3:20 h y 3:20 h en alcanzar la temperatura de ebullición mientras que el 15 de enero tarda 3 h y 10 min, 3 h y 3 h para 1, 3 y 5 cm de espesor respectivamente.

Este hecho se debe a que en julio, aunque las temperaturas ambiente son mayores, el panel sufre grandes pérdidas de potencia debido a la suciedad acumulada en el panel, pues en esta fecha era de un 9,6% mientras que en enero era un 0,5%. A este factor hay que sumarle las pérdidas por aumento de la temperatura del panel, que son más pronunciadas en julio que en enero, ya que tanto la temperatura del ambiente como la incidencia de rayos solares es mayor.

Sin embargo, respecto al enfriamiento sí que se ven diferencias, ya que lógicamente una vez se ha puesto el Sol, las pérdidas del panel no tienen influencia y solo intervienen en las pérdidas de temperatura los espesores del aislante y la temperatura ambiente, que como son más moderadas que para enero tendrán un menor efecto en el intercambio de calor. En este caso los resultados revelan que con cualquiera de los espesores de aislante se puede tener disponible el alimento para la cena y sus tiempos característicos de enfriamiento aumentan notablemente respecto a los del 15 de enero.

Para entender mejor lo anteriormente explicado de por qué en enero se calienta más rápidamente la comida que en julio se exponen a continuación dos gráficos.

El primero muestra la radiación solar por metro cuadrado en ambas fechas.

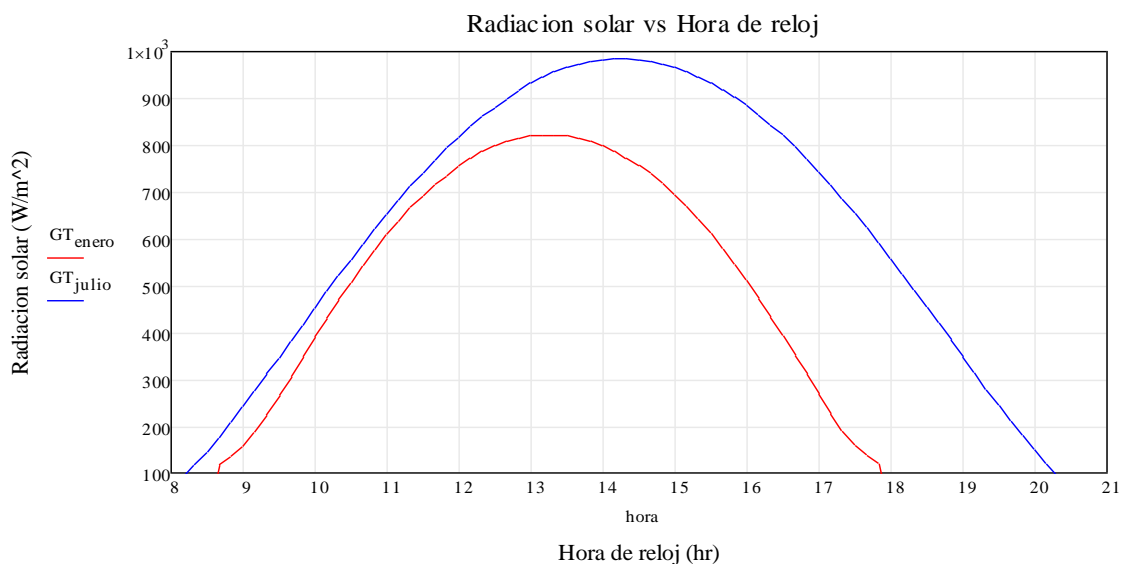


Figura 37.- Gráfica de radiación solar vs hora de reloj para 15/01/2015 y 15/07/2015

El segundo gráfico muestra la potencia otorgada al alimento.

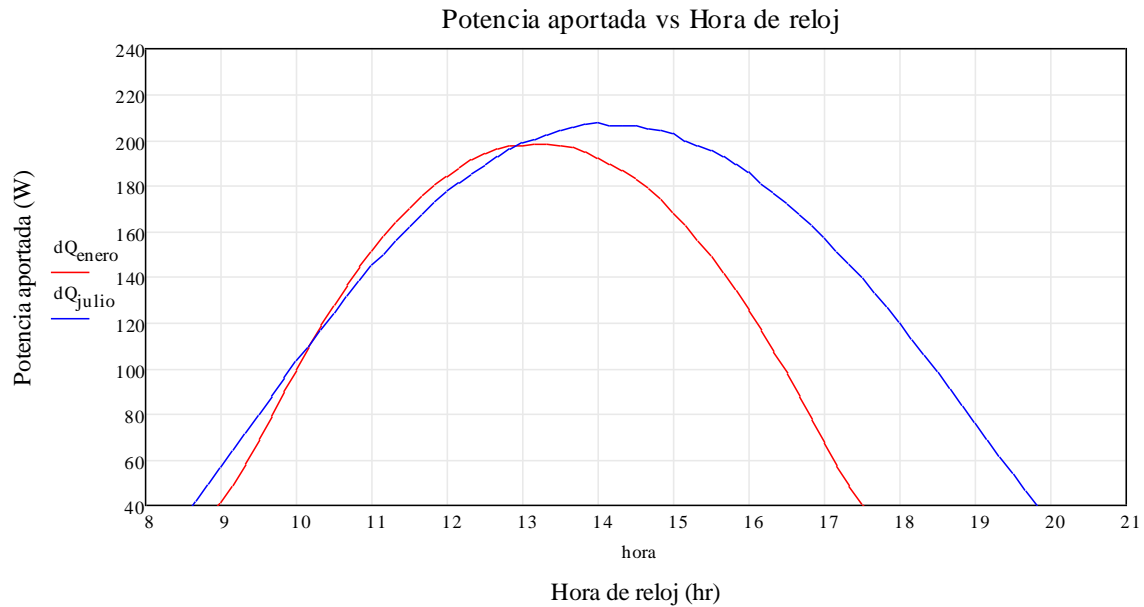


Figura 38.- Gráfica de potencia aportada al alimento vs hora de reloj para 15/01/2015 y 15/07/2015

Aquí se encuentra la respuesta de por qué el alimento se calienta más rápidamente en enero que en julio y es que a pesar de que la radiación incidente en el panel solar es mayor en julio que en enero, se puede apreciar en la Figura 38 que hay un rango de tiempo, aproximadamente desde las 10:10 h de la mañana hasta las 13:00 h en el que la potencia que aporta el panel para que el alimento se caliente es mayor en enero.

Una vez la radiación incidente comienza a alcanzar su máximo el 15 de enero, pero sigue aumentando el 15 de julio, la potencia comienza a ser mayor en la fecha veraniega, como se esperaba que fuese desde un principio.

Conclusiones:

- En enero el alimento se calienta más rápido debido a que las pérdidas de potencia del panel por aumento de su temperatura y por la acumulación de suciedad son mayores en julio.
- El alimento se enfriará más rápidamente en enero debido a que las condiciones climatológicas son más duras que en julio.

7.3.2. Configuración B (espuma de poliuretano)

Se analizarán ahora los resultados de la Configuración B (olla con aislante de espuma de poliuretano), para cada uno de los tres espesores. Los subíndices de las temperaturas indican los cm de espesor que se han usado.

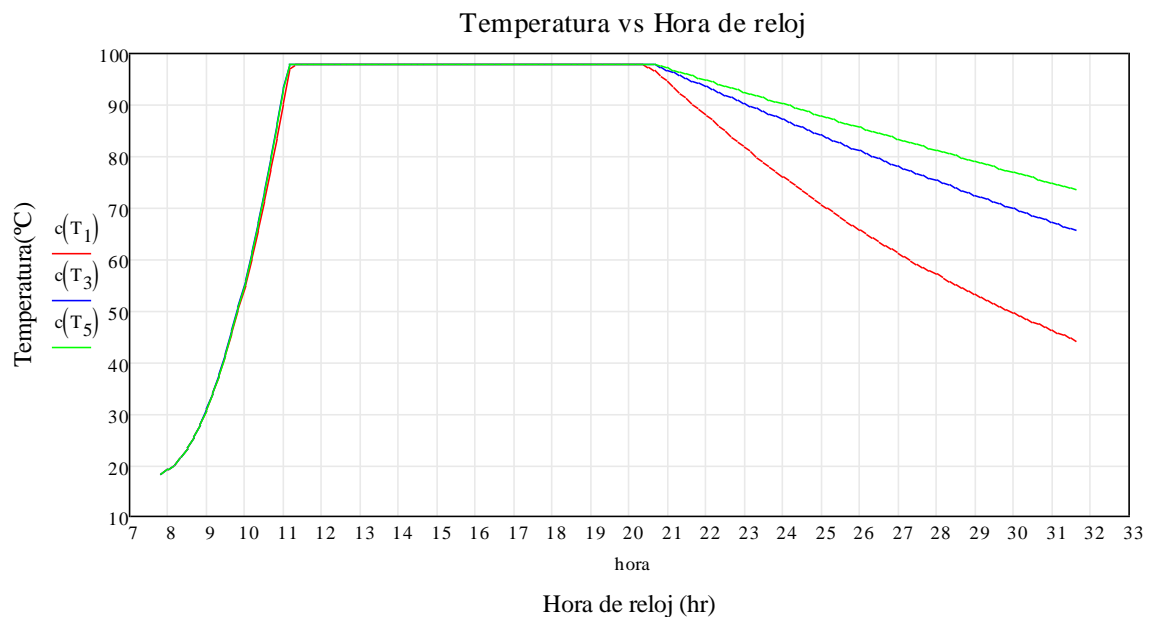


Figura 39.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/07/2015 espuma de poliuretano

	Aislante 1 cm	Aislante 3 cm	Aislante 5 cm
Hora a la que comienza a calentarse la comida	07:50 h	07:50 h	07:50 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h	10:30 h	10:30 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h	2:40 h	2:40 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	138,1 W	147,65 W	150,28 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:20 h	11:10 h	11:10 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:30 h	3:20 h	3:20 h
Tiempo que está en ebullición	8:50 h	9:20 h	9:30 h
Hora a la que empieza a enfriarse	20:10 h	20:30 h	20:40 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	01:00 h (16 julio)	05:50 h (16 julio)	09:21 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	08:32 h (16 julio)	00:13 h (17 julio)	01:40 h (18 julio)

Tabla 17.- Tabla de resultados para espuma de poliuretano (15/07/2015)

Del mismo modo que con la lana de roca, se demuestra que en enero el alimento se calienta más rápido que en julio, por las anteriormente mencionadas pérdidas por suciedad del panel y por aumento de la temperatura del mismo.

Pese a ello, haciendo la comparativa de la espuma de poliuretano para uno y otro día comprobamos que comienza a enfriarse 2:30 h para 1 cm de espesor, 2:40 h para 3 cm de espesor y 2:50 h para espesor de 5 cm más tarde en julio que en enero, lo que propicia que en la fecha veraniega se puede tener la cena caliente, pues el alimento baja de los 70°C a las 01:00 h (16 julio) y 05:50 h (16 julio) para los espesores de 1 y 3 cm respectivamente.

Para el espesor de 5 cm no solo se tiene el alimento disponible para la cena, sino que además se dispondrá de él caliente y libre de microorganismos en el desayuno del siguiente día, 16 de julio. Si bien en el gráfico no se aprecia la hora a la que llega a los 70°C debido a que se pasaba de las horas estudiadas, se ha procedido a hacer una rectificación alargando la función y viendo en qué momento alcanzaría los 70°C. Para ello, se supone que el alimento sigue en la olla pero no está conectada al panel solar, por lo que no se ha tenido en cuenta la radiación solar del día siguiente, ya que a las 9h de la mañana el Sol ya da incide de tal manera que la temperatura volvería a subir y se determina que aguantaría por encima de los 70°C hasta las 09:21 h del 16 de julio.

Conclusiones:

- Con esta configuración, para espesor de 5 cm y fecha 15 de julio, se puede disponer del alimento en buenas condiciones hasta la hora del desayuno del día siguiente, debido a la gran capacidad térmica de la espuma de poliuretano y las favorables condiciones meteorológicas que hacen que no haya excesivo intercambio de calor.
- Hasta el momento parece ser la forma más eficaz de calentar el alimento y sobre todo mantenerlo a una temperatura alta, tal y como muestran sus tiempos característicos de enfriamiento.

7.3.3. Configuración C (termo-vaso Dewar)

Se estudia a continuación el comportamiento del recipiente tipo termo-vaso Dewar el 15 de julio de 2015.

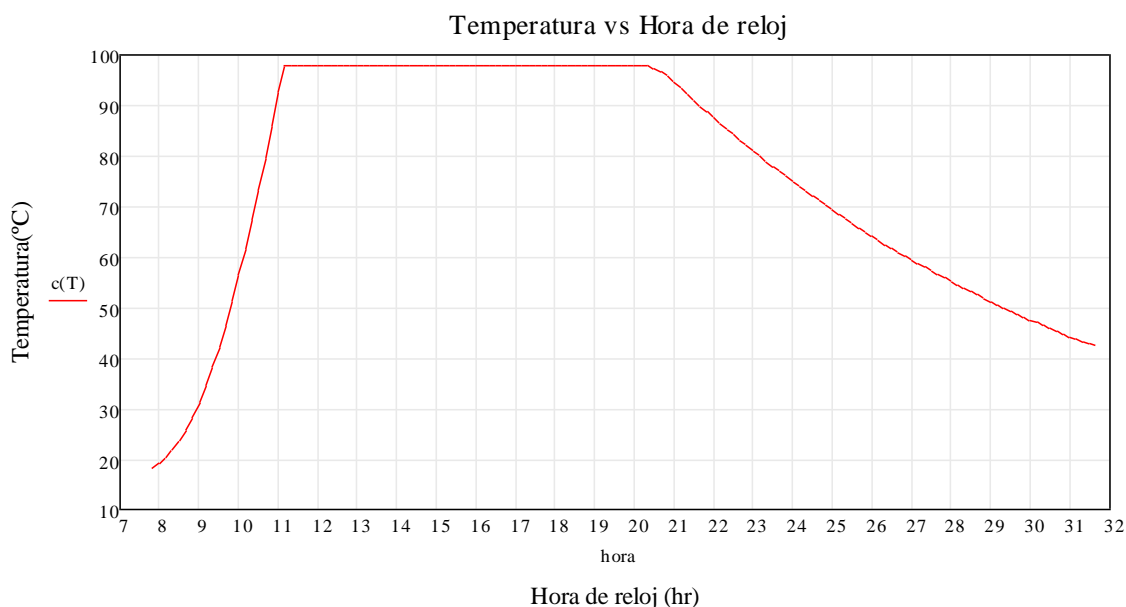


Figura 40.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/07/2015 recipiente tipo termo-vaso Dewar

	Olla-termo
Hora a la que comienza a calentarse la comida	7:50 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	136,65 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:10 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:20 h
Tiempo que está en ebullición	9 h
Hora a la que empieza a enfriarse	20:10 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	00:50 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	08:04 h (16 julio)

Tabla 18.- Tabla de resultados recipiente tipo termo-vaso Dewar (15/07/2015)

Tal y como ocurrió el 15 de enero, se puede observar en los resultados que no es rentable usar este tipo de artilugio, pues usando una olla con 1 cm de espesor de lana de roca el tiempo característico de enfriamiento es 05:40 h (16 julio), alcanzando los 70°C a las 00:00 h (16 julio); con 1 cm de espesor de espuma de poliuretano el tiempo

característico de enfriamiento es 08:32 h (16 julio) alcanzando los 70°C a las 01:00h (16 julio) y con el recipiente tipo termo se obtiene el tiempo característico es 08:04 h (16 julio) y se puede tener la comida por encima de los 70°C hasta la 00:50 h (16 julio). Esto revela que no hay grandes diferencias en el enfriamiento de los tres sistemas, de modo que no hay ventajas en usar el sistema estudiado en este apartado.

Conclusión:

- No tiene sentido usar este sistema de cocinado.

7.4. VARIACIONES Y MEJORAS

En el presente trabajo se han desarrollado algunas variantes de las configuraciones inicialmente establecidas, que permitirán introducir mejoras en la cocina y además ver la importancia de determinados factores en el sistema.

7.4.1. Efecto de la emisividad

La emisividad es un factor que representa la proporción de radiación térmica emitida por un cuerpo o superficie debido a su temperatura. Es una variable adimensional que abarca todos los valores de 0 a 1, siendo 1 el de un cuerpo negro, 0 el de un espejo brillante perfecto y entre 0 y 1 el de los demás cuerpos reales. A mayor emisividad por tanto, mayor será la proporción de radiación térmica emitida por el cuerpo respecto a un cuerpo negro.

Para observar los efectos de la emisividad se coge uno de los casos estudiados al azar: olla recubierta de lana de roca de 3 cm de espesor, el 15 de julio de 2015. Se ha usado aluminio pulido con una emisividad del $\xi=0.1$, acero inoxidable AISI 304 con emisividad $\xi=0.4$ y para simular una emisividad alta se supone que se recubre el sistema con una tela o manta para alcanzar una emisividad de $\xi=0.8$.

-Nota: el subíndice 3 denota los cm de aislamiento y el otro subíndice la emisividad.

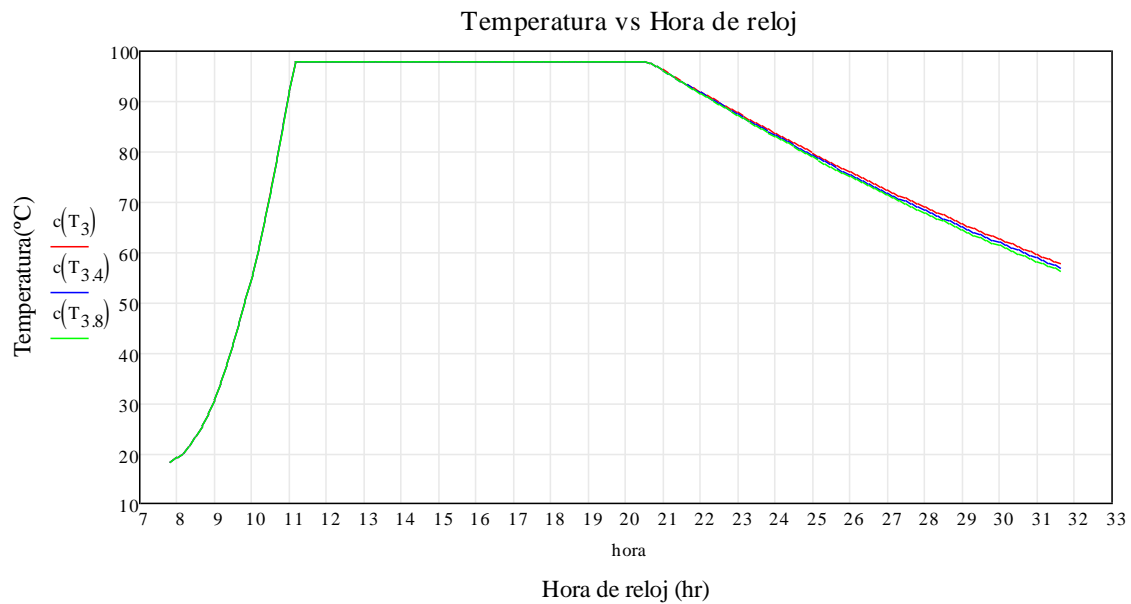


Figura 41.- Gráfica de temperatura vs hora de reloj – 15/07/2015 lana de roca 3 cm (distintas emisividades)

	Aluminio pulido ($\varepsilon=0.1$)	Acero inoxidable 304($\varepsilon=0.4$)	Recubierto tela ($\varepsilon=0.8$)
Hora a la que comienza a calentarse la comida	07:50 h	07:50 h	07:50 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h	10:30 h	10:30 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h	2:40 h	2:50 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	144,68 W	144,37 W	144,1 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:10 h	11:10 h	11:10 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:20 h	3:20 h	3:20 h
Tiempo que está en ebullición	9:20 h	9:20 h	9:20 h
Hora a la que empieza a enfriarse	20:30 h	20:30 h	20:30 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	03:40 h (16 julio)	03:30 h (16 julio)	03:20 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	15:14 h (16 julio)	14:40 h (16 julio)	14:12 h (16 julio)

Tabla 19.- Tabla de resultados para lana de roca 3 cm con distintas emisividades – 15/07/2015

Como se puede observar en la Figura 41 y en la Tabla 19, no hay prácticamente influencia del material en el comportamiento de la instalación. Esto se debe a que la emisividad del material solo será relevante en el intercambio de calor por radiación, que es menos importante que la conducción en el aislante por ejemplo.

Observando la Figura 28 (circuito de resistencias térmicas para el caso que nos ocupa), se puede notar que la influencia del intercambio de calor por conducción en el aislante será mucho más influyente que el efecto de la convección mixta y la radiación.

Conclusión:

- El efecto de la emisividad del recipiente que contiene al alimento es mínimo, pues solo tiene efectos sobre el intercambio de calor por radiación.

7.4.2. Efecto de las pérdidas de potencia en el panel

Como se explicó en el capítulo 6, las pérdidas de potencia que puede tener un panel solar fotovoltaico se deben a tres factores: suciedad acumulada en el panel, edad de la instalación y temperatura del panel. Si se acude a la explicación dada en aquel capítulo sobre esas pérdidas, se entenderá que las pérdidas por suciedad y por temperatura del panel serán distintas para una estación del año u otra y sin embargo las pérdidas por edad del panel serán las mismas.

- **15 enero**

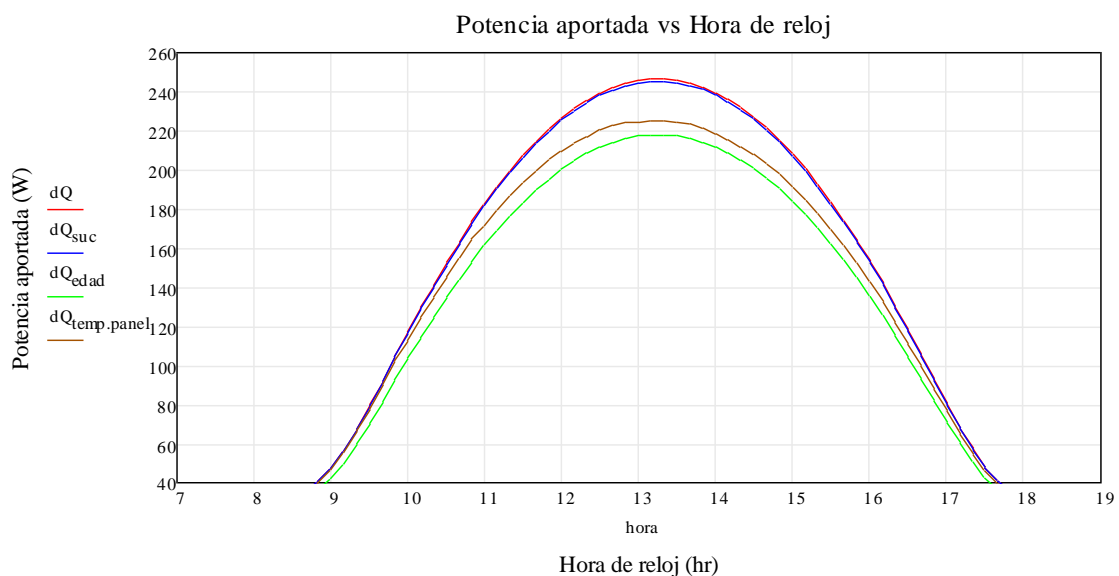


Figura 42.- Gráfica de potencia aportada por el panel solar vs hora de reloj – 15/01/2015

- 15 julio

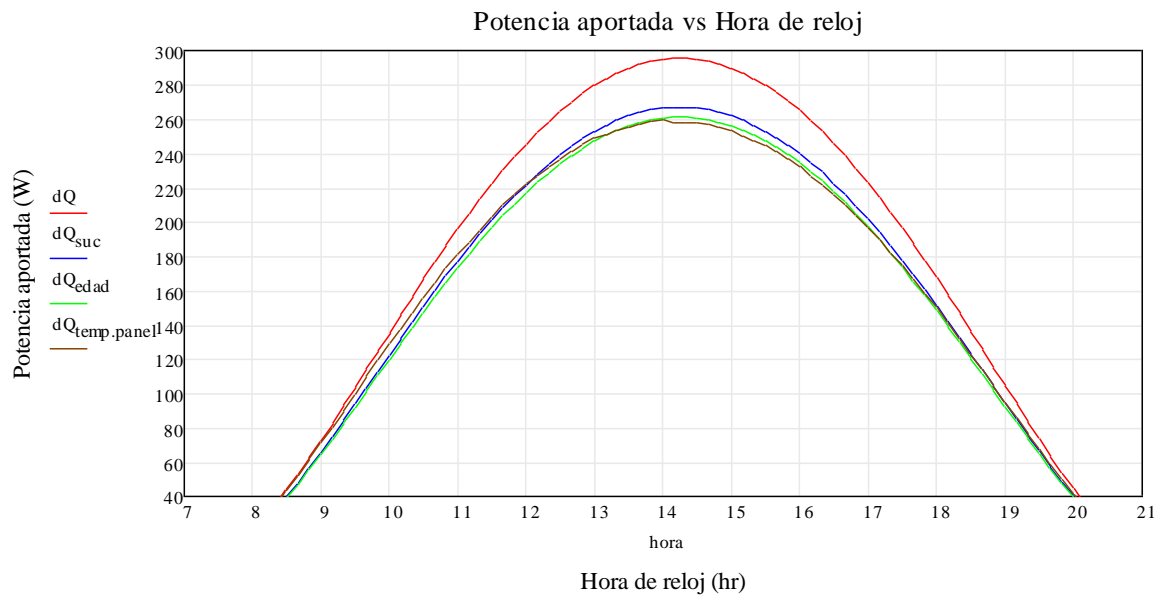


Figura 43.- Gráfica de potencia aportada por el panel solar vs hora de reloj – 15/07/2015

Las potencias mostradas en estos gráficos se corresponden estrictamente a la potencia que ofrecería el panel fotovoltaico teniendo en cuenta solamente el tipo de pérdida a analizar.

Haciendo un breve recordatorio de las pérdidas, la potencia perdida en el panel por suciedad en enero era del 0,5% mientras que en julio del 9,6%. Las pérdidas por aumento de la temperatura del panel serán mayores cuanto mayor sea la temperatura ambiente, es decir, en julio.

De este modo, en ambos gráficos se representa en rojo la potencia que aportaría el panel a la cocina sin ningún tipo de pérdidas. En enero, como se ha expuesto antes, las pérdidas por suciedad del panel son prácticamente insignificantes, ya que los agentes meteorológicos ayudarán a limpiar el panel y sin embargo, en julio se puede apreciar el efecto de la suciedad de manera notable.

Por último, si se observa la potencia por edad (constante en ambos gráficos) se puede deducir que en enero las pérdidas por temperatura en el panel son menores que por la edad, ya que su curva está por encima. Sin embargo, en julio la curva de la potencia por aumento de temperatura en el panel está por debajo de la curva de la potencia por la

edad, lo que significa que sus pérdidas son mayores y por eso se aleja más de la curva de potencia sin considerar ninguna pérdida.

Conclusiones:

- Las pérdidas por suciedad son las más pequeñas, pues su curva es muy cercana a la de la potencia sin considerar pérdidas.
- Los efectos de las pérdidas por temperatura del panel son mucho más notables en julio que en enero, pues en la fecha veraniega son las pérdidas más grandes que hay mientras que en enero lo son las pérdidas por la edad del panel.

7.4.3. Uso de cobertor al llegar al punto de ebullición

Observando lo que ocurre en los casos de olla recubierta con aislante, en los que no hay grandes diferencias en el calentamiento pero sí en el enfriamiento entre los distintos espesores, se pensó en llevar a cabo otra variante. Se escogió al azar estudiar cómo se comportaría el dispositivo el día 15 de enero calentando la comida en una olla con un espesor de 1 cm de lana de roca y según llegase al punto de ebullición introducirla en una especie de cobertor en el que cupiese la olla, con 4 cm más de aislante. De este modo se calentaría la comida con 1 cm de aislante y se enfriaría con 5 cm.

La curva roja representa como se comportaría la olla con un espesor de 1 cm de aislante a lo largo del día y la curva azul representa la mejora comentada en este apartado.

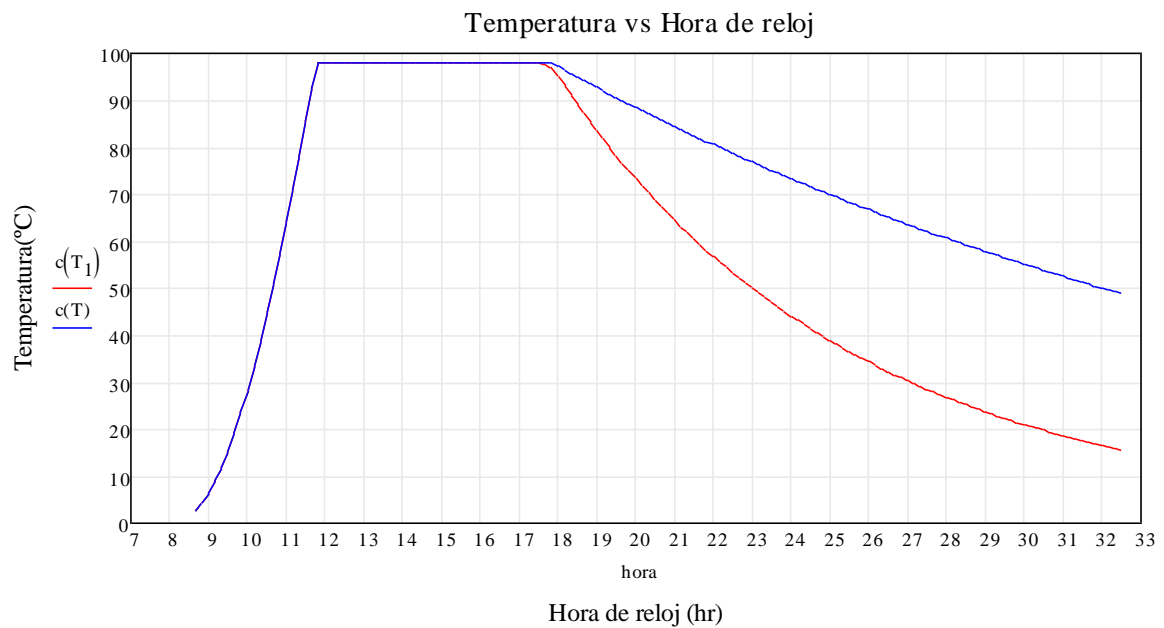


Figura 44.- Gráfica de temperatura del alimento vs hora de reloj – 15/01/2015 lana de roca

	Aislante 1 cm	Uso de cobertor (+ 4 cm)
Hora a la que comienza a calentarse la comida	8:40 h	8:40 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:50 h	10:50 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:10 h	2:10 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	149,5 W	149,5 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:50 h	11:50 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:10 h	3:10 h
Tiempo que está en ebullición	5:40 h	5:50 h
Hora a la que empieza a enfriarse	17:30 h	17:50 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	20:20 h	00:50 h (16 enero)
Tiempo característico de enfriamiento	01:10 h (16 enero)	13:15 h (16 enero)

Tabla 20.- Tabla de resultados para lana de roca 1 cm con cobertor en enfriamiento – 15/01/2015

Cabe destacar que el desembolso económico que habría que hacer para llevar a cabo esta mejora sería mínimo, pues simplemente habría que construir una especie de recipiente con la forma de la olla hecho de 4 cm de aislante, en este caso lana de roca.

Como se puede observar tanto en el gráfico como en la tabla, al introducir la olla con aislante en el cobertor lo que se consigue es aumentar el tiempo que está en ebullición, por tanto comenzará más tarde a enfriarse debido a que el intercambio de calor

es más pequeño. Esto conlleva, por ejemplo, poder tener la cena caliente y en buen estado, mientras que con un 1 de espesor sin introducirlo en el cobertor sería imposible.

Conclusión:

- Es muy recomendable el uso de un cobertor de aislante, pues se puede llegar a alargar el tiempo característico de enfriamiento 12 horas como en el ejemplo aquí propuesto.

7.4.4. Aprovechamiento de la energía para otras utilidades

A lo largo de este trabajo se ha explicado por qué es necesaria la cocina solar en países en vías de desarrollo. Uno de los motivos principales es el difícil acceso a formas de energía que tienen dichas sociedades.

Si uno de los beneficios que tiene la cocina solar es evitar la quema indiscriminada de leña para evitar la deforestación, el alumbrado de los hogares también requiere de la quema combustibles fósiles o madera normalmente. Se ha pensado entonces, que una aplicación muy útil del sistema sería servir durante un tiempo determinado como cocina y una vez cocinado el alimento usar la instalación como una fuente de energía alternativa. Las otras aplicaciones están enfocadas a la conservación o cocinado de alimentos.

Lo que se hará entonces es cocinar el alimento unas dos horas y desconectar el sistema del panel fotovoltaico, ya que estando este tiempo a 98°C cualquier alimento se puede cocinar. Posteriormente se hallará la energía sobrante que da el panel desde el momento en el que se desconecta de la cocina y se estudiarán los elementos a los que puede suministrar energía suficiente y por cuánto tiempo. El día elegido para esta variante es el 15 de julio y el aislante espuma de poliuretano.

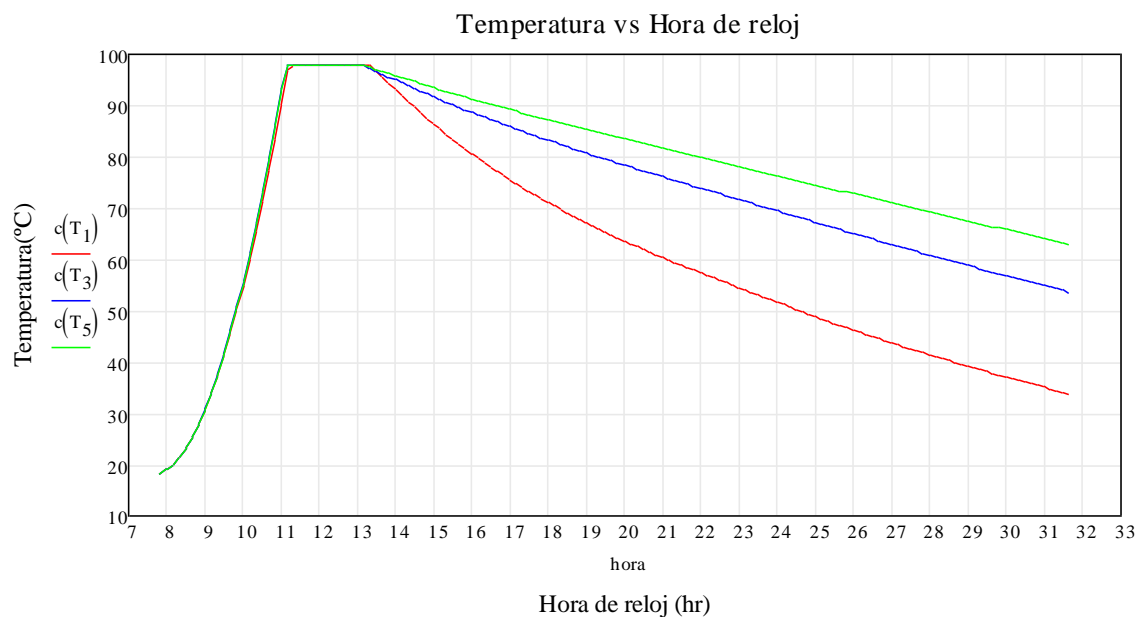


Figura 45.- Gráfica de temperatura del alimento vs hora de reloj – 15/07/2015 espuma de poliuretano

	Aislante 1 cm	Aislante 3 cm	Aislante 5 cm
Hora a la que comienza a calentarse la comida	07:50 h	07:50 h	07:50 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h	10:30 h	10:30 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h	2:40 h	2:40 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	138,11 W	147,65 W	150,28 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:20 h	11:10 h	11:10 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:30 h	3:20 h	3:20 h
Tiempo que está en ebullición	2 h	2 h	2 h
Hora a la que empieza a enfriarse	13:20 h	13:10 h	13:10 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	18:10 h	23:40 h	03:30 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	21:40 h	13:41 h (16 julio)	23:29 h (16 julio)
Energía acumulada desde la desconexión	997,16 W·hr	1030,86 W·hr	1030,86 W·hr
Tiempo de abastecimiento 6 bombillas LED de 10W	16:37 h	17:10 h	17:10 h
Luz LED: 6horas + microondas 800W	43 min	45 min	45 min
Luz LED: 6horas + frigorífico 70W	10:14 h	10:47 h	10:47 h

Tabla 21.- Tabla de resultados para aprovechamiento de la energía en otros usos

Desde que se desconecta la olla del panel solar fotovoltaico, se generan 997 W·hr con 1 cm de espesor de aislante y 1030,86 W·hr para aislantes de 3 y 5 cm. En función a esta cantidad de energía se han desarrollado tres alternativas de mejora de la instalación:

1) Alimentar solamente a 6 bombillas.

Si se supone que el hogar cuenta con unas 6 salas y cada una puede ser iluminada con una bombilla de 10 W, tendremos unas 17 horas de iluminación dependiendo de qué espesor de aislante se use, tiempo más que suficiente para iluminar una casa. De hecho, si se supone que una casa necesitará como máximo 5 horas de luz artificial al día, teniendo las 6 luces dadas, se podría abastecer a tres hogares.

2) Alimentar a 6 bombillas y un microondas

Una aplicación no del todo útil pero que permite analizar el alcance del poder de generación del panel solar es pensar en abastecer durante 6 horas a las 6 bombillas de 10W y además comprobar el tiempo que se podría usar un microondas de 800 W.

Se dice que no es útil porque si se dispone de una cocina solar, no tiene sentido gastar una gran cantidad de energía en el uso de un microondas. Aún así, hay que destacar que como mínimo se podría usar el microondas durante 43 min, lo que hace indicar que se genera una buena cantidad de energía, la cual se podrá destinar a la conservación de alimentos como se indica a continuación.

3) Alimentar a 6 bombillas y un frigorífico

Se pensó entonces, que una vez calentado el alimento se podría dedicar la energía generada a abastecer un frigorífico pequeño para una correcta conservación de los alimentos perecederos. Así pues, se buscaron consumos de frigoríficos de distintos fabricantes y se encontraron varios problemas: inconsistencias en los consumos, pues la misma marca para el mismo modelo ofrecía dos tipos distintos de consumo; inconsistencia en las unidades, pues algunos fabricantes ofrecían el consumo en kW/año, etc.

Frente a esta situación, se decide establecer un pequeño modelo para calcular la potencia que consumirá el frigorífico. Para ello se halla la potencia que será necesaria para mantener el frigorífico a unos 2°C usando 5 cm de aislante de conductividad térmica 0,035 W/m·K. La temperatura en sala es de 20°C, con lo que se obtiene que la potencia necesaria es 17 W. A esto hay que sumarle la potencia que necesita el frigorífico en los momentos en los que se introduce un alimento a la temperatura de 20°C. Como ejemplo, se intenta enfriar 2 litros de agua en 1 hora en tres momentos distintos del día, de modo que se estima la potencia que sería necesaria, dejando así holgura por si se introduce un alimento con más masa que se enfriase en más tiempo.

El resultado obtenido es 37 W, de modo que serían necesarios al menos 54 W de potencia en esos momentos críticos. Se cree entonces que lo más aconsejable es suponer un consumo de 70 W, estableciendo así un margen por si hay que enfriar algo más simultáneamente. Estos 70 W al dividirlos entre el COP de la máquina, estimado un valor de 3, se obtiene una potencia eléctrica de 23,33 W. Por último, como el frigorífico solo trabajará unas 10 horas al día, en ese tiempo deberá aportar toda la energía necesaria, de modo que el panel deberá aportar 56 W de manera continua en esas 10 horas.

Para que sea posible aportar potencia al frigorífico de manera continua, se necesita una batería de plomo-ácido, que suele tener un rendimiento del 90% o superior.

Al realizar los cálculos se obtiene que si el frigorífico tuviese 56 W consumo, se le podría alimentar durante 10:14 h en caso de haber calentado la comida con aislante de 1 cm y 11 h en caso de calentarla con 3 o 5 cm. Por tanto, se cumplen las exigencias y es posible alimentar al frigorífico.

Conclusiones:

- Se dispone de un sistema con mucha capacidad de generación de energía, pues cocinando la comida a temperatura de ebullición unas 2 horas, tiempo más que generoso, se dispondría de energía suficiente para abastecer 6 luces LED de 10 W durante 6 horas y además un frigorífico pequeño durante unas 10:30 h o bien se podría usar un microondas unos 45 min.

- Para este caso, será más útil abastecer un frigorífico que un microondas, pues si se quiere calentar algún alimento para eso se podría utilizar la cocina solar.

7.4.5. Calentamiento de varias comidas a lo largo del día

Durante todo el trabajo se ha usado una olla de 3 L y unos 2,8 kg de alimento en su interior, comida suficiente para toda una familia. Ahora bien, se pensó que con este sistema no sólo se podría cocinar una comida, sino que se podría intentar cocinar para más de una familia o para cocinar por separado comida y cena, etc.

Así pues se ha pensado, para el día 15 de julio y usando como aislante espuma de poliuretano de 5 cm de espesor, en calentar el alimento en una primera olla hasta el punto de ebullición y tras una hora de estar en ebullición desconectarlo del panel solar fotovoltaico y conectar otra olla con otro alimento. Así hasta cuatro veces se ha logrado. Hay que decir que se establece una hora en ebullición, porque o el alimento es algún tipo de carne muy pesada, o es tiempo más que suficiente para que se cocinen la mayoría de los alimentos.

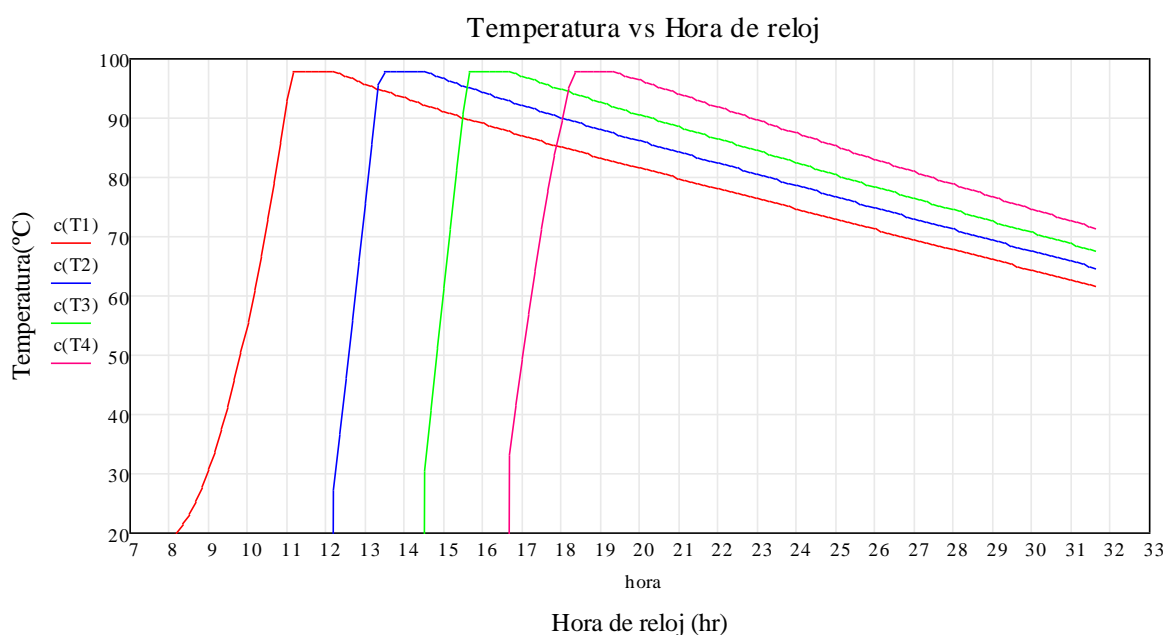


Figura 46.- Gráfica de temperatura del alimento vs hora de reloj – 15/07/2015 espuma de poliuretano 5 cm

	1ª olla	2ª olla	3ª olla	4ª olla
Hora a la que comienza a calentarse la comida	07:50 h	12:10 h	14:30 h	16:40 h
Hora a la que alcanza sobretemperatura de 50°C	10:30 h	13:10h	15:20 h	17:50 h
Tiempo que tarda hasta la sobretemperatura de 50°C	2:40 h	1 h	50 min	1:10 h
Potencia característica sobretemperatura de 50°C	150,28 W	144,1 W	142,91 W	143,5 W
Hora a la que empieza a ebullición	11:10 h	13:30 h	15:40 h	18:20 h
Tiempo que ha tardado hasta la ebullición	3:20 h	1:20 h	1:10 h	3:50 h
Tiempo que está en ebullición	1 h	1 h	1 h	1 h
Hora a la que empieza a enfriarse	12:10 h	14:30 h	16:40 h	19:20 h
Durante el enfriamiento, hora a la que baja de 70°C	02:40 h (16 julio)	04:40 h (16 julio)	06:20 h (16 julio)	08:21 h (16 julio)
Tiempo característico de enfriamiento	21:03 h (16 julio)	02:33 h (17 julio)	10:39 h (17 julio)	19:24 h (17 julio)

Tabla 22.- Tabla de resultados para calentamiento de varias comidas a lo largo del día

Como se puede observar en el gráfico y en la tabla, la primera de las ollas tarda bastante más que las otras, lo cual se debe a que cuanto más cerca del mediodía mayor será la incidencia de rayos solares, por eso las ollas 2ª y 3ª, que empiezan a calentarse a las 12:10 h y a las 14:30 h, respectivamente, solo tardan una 1:20 horas la 2ª y 1:10 horas la 3ª en llegar a la temperatura de ebullición. Como se observa con la 4ª olla, ya vuelve a subir el tiempo de calentamiento, de modo que a partir de ésta ya sería muy difícil calentar otra olla más y por eso se decidió que fuese la última.

Con esta configuración se permite cocinar la comida y/o cena de una o varias familias, pues las cuatro ollas están calientes como mínimo hasta las 02:40 h de la madrugada del 16 de julio. Por ello se pueden hacer varias variantes, como por ejemplo que con las cuatro ollas se cocine la comida y la cena de dos familias distintas, o bien dos platos de comida para una familia, la cena y desayuno del día siguiente, etc.

Conclusiones:

- Los tiempos característicos de enfriamiento demuestran que en los cuatro casos las ollas se enfrían muy despacio. Esto se debe a que además de un buen aislante, también se están enfriando durante el día, con una temperatura

ambiente bastante elevada, de modo que habrá poco intercambio de calor y por tanto poco enfriamiento.

- La 2ª y 3ª olla son las que mejor calientan porque lo hacen en las horas de mayor incidencia de rayos solares.
- Hay multitud de variantes que se pueden realizar con este sistema.

8. CONCLUSIONES

Se procede en esta apartado a reunir las conclusiones realizadas a lo largo del trabajo:

- Cuando se usa olla recubierta de un aislante, con los tres espesores se calienta prácticamente al mismo ritmo pero se enfría más lento cuanto mayor es el espesor.
- La espuma de poliuretano es mejor aislante que la lana de roca.
- Cuánto más calor se aporte al alimento, mayor será la potencia característica de sobretemperatura de 50°C.
- No es recomendable usar el sistema tipo termo-vaso Dewar para el tipo de cocina solar desarrollada en este trabajo, pues supondrá un gran desembolso económico y no reportará grandes beneficios.
- En enero el alimento se calienta más rápido debido a que las pérdidas de potencia del panel por aumento de su temperatura y por la acumulación de suciedad son mayores en julio.
- El alimento se enfriará más rápidamente en enero debido a que las condiciones climatológicas son más duras que en julio.
- El efecto de la emisividad del recipiente que contiene al alimento es mínimo, pues solo tiene efectos sobre el intercambio de calor por radiación y estos son muy pequeños en comparación con los demás.
- Las pérdidas de potencia por suciedad son las más pequeñas que alberga el panel.
- Los efectos de las pérdidas por temperatura del panel son mucho más notables en julio que en enero, pues en la fecha veraniega son las pérdidas más grandes que hay mientras que en enero lo son las pérdidas por la edad del panel.

- Es muy recomendable el uso de un cobertor de aislante, pues se puede llegar a alargar el tiempo característico de enfriamiento 12 horas.
- Se dispone de un sistema con mucha capacidad de generación de energía, pues cocinando la comida a temperatura de ebullición unas 2 horas, tiempo más que generoso, se dispondría de energía suficiente para abastecer 6 luces LED de 10 W durante 6 horas y además un frigorífico pequeño durante unas 10:30 h o bien se podría usar un microondas unos 45 min, teniendo más sentido el uso de un frigorífico pues ya disponemos de una cocina solar para calentar alimentos.
- Si una olla ha de enfriarse durante el día, lo hará muy despacio porque la temperatura ambiente es más elevada que por la noche, de modo que habrá poco intercambio de calor y por tanto poco enfriamiento.
- Hay multitud de variantes que se pueden realizar con este sistema de cocinado, como se ha visto en todos los casos expuestos anteriormente.
- Si se quiere asegurar que se va a disponer de alimento en buen estado en la cena, lo más recomendable es usar una olla recubierta de espuma de poliuretano, ya que sin importar la fecha del año que sea, el alimento aguantará por encima de los 70°C hasta finales de la tarde o principios de la noche como mínimo. De hecho, con espuma de poliuretano de 5 cm de espesor se dispondrá del alimento en buenas condiciones para el desayuno del día siguiente, siempre y cuando sean fechas veraniegas.

9. TRABAJOS FUTUROS

La cocina solar analizada en este trabajo abre un gran abanico de posibles mejoras del sistema y variantes que se adapten a otras necesidades. Así pues se ofrecen algunas opciones que pueden ser desarrolladas en futuros trabajos:

- Análisis experimental del sistema de cocina propuesto.
- Desarrollo del sistema para otras épocas del año o emplazamientos distintos al usado, Universidad Carlos III de Madrid (Leganés).

- Mejora de la variante con recipiente tipo termo-vaso Dewar, ya que como se ha demostrado durante el trabajo, no se han obtenido los resultados esperados para este tipo de artilugios.

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. LIBROS Y ARTÍCULOS

CIEMAT. *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica*.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*.

Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*.

Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Fernández Ferichola, J. *PFC - Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*. Leganés.

Incropera, F. P., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

Lecuona-Neumann, A. (2013). *Fuentes de Energía, Capítulo 7: Energía solar. Geometría solar y radiación. Recurso y perfiles productivos*.

Lecuona-Neumann, A. (Abril de 2010). *Fundamentos de cocinas solares*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

O'Connor, P. A., & Cleveland, C. J. (2014). *U.S. Energy Transitions 1780–2010*. Boston University, 685 Commonwealth Avenue, Boston, MA 02215, USA.

Sidrach-de-Cardona, M., Sánchez-Friera, P., Piliouline, M., Peláez, J., Carretero, J., & Mora-López, L. (2010). *DEGRADACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO CRISTALINO TRAS 12 AÑOS DE OPERACIÓN EN ESPAÑA*. Málaga, España: Universidad de Málaga.

Sidrach-de-Cardona, M., Sánchez-Friera, P., Piliouline, M., Peláez, J., Carretero, J., & Mora-López, L. (2010). *DEGRADACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO*

CRISTALINO TRAS 12 AÑOS DE OPERACIÓN EN ESPAÑA. Universidad de Málaga.
Málaga: Universidad de Málaga.

Smart Green (Powering Nature). (s.f.). Análisis de influencia de la suciedad en FV.
<http://www.smartgreenholding.com/imagenes/documentacion/ficheros/03D6EC10.pdf>.

Zorrilla-Casanova, J., Piliouge, M., Carretero, J., Bernaola-Galván, P., Carpena, P., Mora-López, L., y otros. (2012). *Losses produced by soiling in the incoming radiation to photovoltaic modules*. Málaga, España: Universidad de Málaga.

Zorrilla-Casanova, J., Piliouge, M., Carretero, J., Bernaola-Galván, P., Carpena, P., Mora-López, L., y otros. (2012). *Losses produced by soiling in the incoming radiation to photovoltaic modules*. Universidad de Málaga. Málaga: Universidad de Málaga.

10.2. MATHCAD USADOS

Carpeta creada en Google Drive para ver las hojas de cálculo, tanto en formato Mathcad como en formato PDF:

<https://drive.google.com/open?id=0B0O3mTk1SQLeU2ZMc1JHMTMwcGM>

10.3. ENLACES WEB

¹ Web Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

² Web energías-renovables: <http://www.energias-renovables.com/articulo/ignacio-marti-elegido-presidente-del-grupo-de-20151026>

³ Web EOI: <https://www.eoi.es/blogs/martaluque/2014/03/17/%C2%BF-la-biomasa-vende-humo-o-su-humo-contamina/>

⁴ Web Efimarket: <http://www.efimarket.com/blog/la-situacion-de-la-energia-solar-en-espana/>

⁵ Web Unesco: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf>

⁶ Web Terra: <http://www.terra.org/categorias/articulos/cocinar-con-el-sol>

⁷ Web SCI: http://solarcooking.wikia.com/wiki/Timeline_of_Solar_Cookers_International

⁸ Web SCI: http://solarcooking.wikia.com/wiki/M%C3%A1ria_Telkes

-
- ⁹ Web SCI: http://solarcooking.wikia.com/wiki/Refugee_camp
- ¹⁰ Web Europa press: <http://www.europapress.es/murcia/noticia-experto-afirma-cocinas-solares-evitar-muerte-millones-personas-ano-tercer-mundo-20150604121620.html>
- ¹¹ Web Solarcooking.org: <http://solarcooking.org/newsletters/scrmar08.htm>
- ¹² Web Monsolar: <http://www.monsolar.com/blog/comprar-un-panel-solar-fotovoltaico-7-consejos-practicos/>
- ¹³ Web precios Atersa: <http://www.atersa.com/img/20159413443.pdf>
- ¹⁴ Web Damia Solar: http://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/orientacion-e-inclinacion-de-las-placas-solares_1
- ¹⁵ Web WindFinder: <http://es.windfinder.com/windstatistics/madrid>
- ¹⁶ Web Solergaells: http://solegraells.com/tienda/index.php?main_page=product_info&products_id=2290
- ¹⁷ Web Cole-Parmer: <http://www.coleparmer.com/Virtual-Catalog/es-us/552>
- ¹⁸ Web Cole-Parmer: <http://www.coleparmer.com/Virtual-Catalog/es-us/551>
- ¹⁹ Web Cole-Parmer: <http://www.coleparmer.com/Virtual-Catalog/es-us/553>
- ²⁰ Web Cole-Parmer: <http://www.coleparmer.com/Virtual-Catalog/es-us/552>
- ²¹ Web Nisbets: http://www.nisbets.es/Termo-dispensador-3L-Olympia/K636/ProductDetail.raction?VAT_INCLUSIVE_MARKER=TRUE&cm_mmc=PLA--248253890--15777668090-K636&gclid=CMSjrszB7coCFRIUGwodpzwDEQ
- ²² Web Amazon: http://www.amazon.es/dp/B001MS2U8O/ref=asc_df_B001MS2U8O31874681/?tag=googs-hopes-21&creative=24526&creativeASIN=B001MS2U8O&linkCode=df0&hvdev=c&hvnetw=g&hvqmt
- ²³ Web Amazon: http://www.amazon.es/t%3A9rmica-litros-capacidad-Bombeo-autom%C3%A1tico/dp/B00MNJXLH0/ref=sr_1_4?s=kitchen&ie=UTF8&qid=1455119548&sr=1-4&keywords=termo+3+litros
- ²⁴ Web Thermal Cookware: <https://www.thermalcookware.com/main.php?mod=Shop&file=Product&cat=5&pid=107>
- ²⁵ Amazon: <http://www.amazon.com/Thermos-Thermal-Cooker-RPC-4500-Thermo/dp/B002QHZG3G>
- ²⁶ Web DreamPot: <http://www.dreampot.com.au/shop/dreampot-3-litre-blue/>
- ²⁷ Web Ebay: <http://www.ebay.com/itm/Tayama-Thermal-Cooker-5-Liter-Model-TXM-50CF-/221845190378>
- ²⁸ Web Amazon: Magefesa Practika Plus - Olla rapida, 3.2 L: http://www.amazon.es/Magefesa-Practika-Plus-Olla-rapida/dp/B00J1I29HE/ref=sr_1_4?s=kitchen&ie=UTF8&qid=1455142335&sr=1-4&keywords=olla+3+litros
- ²⁹ Web Electrodomésticos Romero: Olla WMF Perfect 3 Ac inox 18/10 Cromargan: <http://electrodomesticosromero.es/olla-perfect-3l.html>

- ³⁰ Web Portahispanica: Olla a presión rápida Jata 3L:
<http://www.portahispanica.com/htm/es/prod2/control?zone=pub&sec=prod2&pag=ver&oc=es&id=299>
- ³¹ Datos obtenidos de: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=14>
- ³² Web Tevisa: <http://www.tienda.tevisa.es/vistas/producto.aspx?id=35225>
- ³³ Web Leroy Merlin: <http://www.leroymerlin.es/fp/14779604/placa-de-porespan-porexpan-t-v?idCatPadre=244052&pathFamiliaFicha=3818>
- ³⁴ Web Brico Markt: <http://www.bricomarkt.com/madera/poliestireno/poliestireno-extruido.html>
- ³⁵ Web Brico Markt: <http://www.bricomarkt.com/madera/poliestireno/poliestireno-extruido.html>
- ³⁶ Web Leroy Merlin: <http://www.leroymerlin.es/fp/10403666/poliestireno-extruido-chovafoam-t-iv-l&idCatPadre=244052&pathFamiliaFicha=3818#ficha-tecnica>
- ³⁷ Web Lets Brico: <http://letsbrico.com/shop/espuma-poliuretano-750-ml-spray.html?gclid=ClyS5fGYv8gCFQs8Gwod2OoKbg>
- ³⁸ Web Lets Brico: <http://letsbrico.com/shop/espuma-poliuretano-en-pistola-ratio.html>
- ³⁹ Web Lets Brico: <http://letsbrico.com/shop/espuma-poliuretano-en-aerosol-ratio.html>
- ⁴⁰ Web Leroy Merlin: <http://www.leroymerlin.es/fp/16154796/espuma-de-poliuretano-multiusos?idCatPadre=11031&pathFamiliaFicha=260704>
- ⁴¹ Web Leroy Merlin: <http://www.leroymerlin.es/fp/16154810/espuma-de-poliuretano-axton-multiusos?idCatPadre=11031&pathFamiliaFicha=260704>
- ⁴² Web Brico Markt:
http://www.tiendeo.com/Catalogos/Madrid/280644&pagina=37&subori=web_sliders&buscar=Espuma%20de%20poliuretano&sw=1366
- ⁴³ Web Brico Markt :
http://www.tiendeo.com/Catalogos/Madrid/280644&pagina=37&subori=web_sliders&buscar=Espuma%20de%20poliuretano&sw=1366
- ⁴⁴ Web Cork Shop: <https://www.corkshopbcn.com/es/aislamientos-termicos/142-aglocork-termico.html>
- ⁴⁵ Web La Isla Sostenible: <http://www.laislasostenible.com/aislantes.html>
- ⁴⁶ Web Bricork: <http://bricork.com/es/corcho-industrial-y-multiusos/84-corcho-aislante-negro.html>
- ⁴⁷ Web Leroy Merlin: <http://www.leroymerlin.es/fp/15929564/lana-de-roca-acustilaine-70?idCatPadre=244052&pathFamiliaFicha=3818#ficha-tecnica>
- ⁴⁸ Web Brico Markt: <http://www.bricomarkt.com/madera/lana-de-roca/precio-lana-de-roca.html>
- ⁴⁹ Web Brico Markt: <http://www.lacasadelaconstruccion.es/materiales-construccion.php?producto=19301>

- ⁵⁰ Web ChovA:
[http://www.aislamientos.info/contenido/genericas/files/TARIFA%20AISLAMIENTO%20TERMICO%20MAYO%202013\(1\).pdf](http://www.aislamientos.info/contenido/genericas/files/TARIFA%20AISLAMIENTO%20TERMICO%20MAYO%202013(1).pdf)
- ⁵¹ Web Isover:
<http://www.isover.es/content/download/10453/58930/version/2/file/LISTA-DE-PRECIOS-CASTELLANO-FINAL.pdf>
- ⁵² Web Isover:
<http://www.isover.es/content/download/10453/58930/version/2/file/LISTA-DE-PRECIOS-CASTELLANO-FINAL.pdf>
- ⁵³ Web Isover:
<http://www.isover.es/content/download/10453/58930/version/2/file/LISTA-DE-PRECIOS-CASTELLANO-FINAL.pdf>
- ⁵⁴ Web Isover:
<http://www.isover.es/content/download/10453/58930/version/2/file/LISTA-DE-PRECIOS-CASTELLANO-FINAL.pdf>
- ⁵⁵ Web Rufino Navarro:
<http://www.rufinonavarro.com/sites/default/files/fckeditor/aislamiento.pdf>
- ⁵⁶ Web base de datos temperatura Madrid:
<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=12280>
- ⁵⁷ Web WindFinder: <http://es.windfinder.com/windstatistics/madrid>
- ⁵⁸ Web Portahispanica: Olla a presión rápida Jata 3L:
<http://www.portahispanica.com/htm/es/prod2/control?zone=pub&sec=prod2&pag=ver&oc=es&id=299>
- ⁵⁹ Características del acero AISI-304: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>
- ⁶⁰ Web para datos lana roca:
<http://www.rockwool.es/productos+y+soluciones/u/2011.product/1769/edificacion-tecnica/alpharock-e-225>
- ⁶¹ Web: <http://www.atempa.org/PUR.pdf>